

Ein Navigationsassistent für Fussgänger in der Stadt

Aufbauend auf den Strukturelementen
von Kevin Lynch

Diplomarbeit
Geographisches Institut der Universität Zürich

von Rolf Würth

Fakultätsvertretung:
Prof. Dr. Sara I. Fabrikant

Betreuung:
Dr. Sabine Timpf

Zürich, Januar 2006

Zusammenfassung

Navigation und Wegfindung sind alltägliche Aktivitäten, ebenso der Gebrauch von Hilfsmitteln zur Navigation. Aus der Raumkognitionforschung weiss man heute viel darüber, wie die menschliche Navigation funktioniert und welche Prozesse dabei ablaufen. Einige Forschungsprojekte versuchen nun, diese Erkenntnisse bei der Entwicklung von besseren und intuitiveren Navigationshilfen umzusetzen. Die meisten Projekte befassen sich mit der zielgerichtete Navigation. Arbeiten, die auch den Prozess der explorativen Wegfindung unterstützen, sind dagegen rar. Die vorliegende Arbeit setzt deshalb an diesem Punkt an. Den Ansatz zur Umsetzung liefert eine Studie von Stadtplaner Kevin Lynch aus den 60er Jahren. Lynch hat anhand empirischer Untersuchungen zeigen können, dass fünf so genannte Strukturelemente für die Navigation in einer Stadt grundlegend sind. Andere Autoren konnten zudem zeigen, dass die Navigation umso einfacher ist, je besser diese Strukturelemente erkannt werden können.

Die Idee dieser Arbeit besteht darin, die Strukturelemente von Lynch in einer Karte betont zu visualisieren und damit das explorative Navigieren zu erleichtern. Für die Navigation sind die Strukturelemente, die sich in der Nähe oder im Sichtfeld befinden, am wichtigsten. Da sich die Bezüge zu solchen Strukturelementen bei der Bewegung im Raum stetig verändern, müssen sie abhängig vom örtlichen Kontext visualisiert werden. Dazu wurde eine kartografische Applikation für einen portablen Computer entwickelt, der mit einem GPS-Empfänger gekoppelt ist. Neben der Anzeige der aktuellen Position auf einer Karte werden jeweils die wichtigsten Strukturelemente kontextabhängig dargestellt.

Die Applikation wurde mit einer empirischen Studie in der Innenstadt von Zürich getestet. Die Resultate zeigen, dass die betonte Visualisierung der Strukturelemente von einer grossen Mehrheit der Studienteilnehmer als hilfreich für die Navigation angesehen wird. Zudem zeigen die Resultate, dass die Navigation mit dem Prototyp vor allem für Testteilnehmer erleichtert wird, die sich im Testgebiet wenig auskennen.

Dank

Ich danke Sabine Timpf für die kompetente Betreuung meiner Diplomarbeit. Ihre kritischen Anmerkungen und konstruktiven Ideen waren stets von grossem Wert.

Danken möchte ich auch den vielen freiwilligen Probanden, die sich für das Testen des Prototyps zur Verfügung gestellt haben.

Besonderer Dank gilt meinen Eltern, die mir dieses Studium ermöglicht haben.

Ganz herzlich bedanke ich mich bei Nicole für ihre Unterstützung und Ausdauer während meiner Diplomarbeit.

Inhalt

Zusammenfassung	i
Inhalt	iii
Abbildungen	v
Tabellen	vi
1. Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Ansatz	2
1.3 Ziel, Hypothesen und Abgrenzung	3
1.3.1 Ziel und Hypothesen	3
1.3.2 Abgrenzung des Themas	3
1.4 Aufbau der Arbeit	4
2. Grundlagen	5
2.1 Navigation	5
2.1.1 Navigationskomponenten	5
2.1.2 Wegfindungsmethoden	6
2.2 Kevin Lynch: The Image of the City	7
2.2.1 Wege (Paths)	9
2.2.2 Grenzlinien oder Ränder (Edges)	9
2.2.3 Bereiche (Districts)	10
2.2.4 Brennpunkte (Nodes)	10
2.2.5 Merkzeichen (Landmarks)	11
2.3 Grundlagen zur kartografischen Visualisierung	11
2.3.1 Definition Karte und Kartografie	12
2.3.1 Kartografisches Zeichensystem, grafische Variablen	12
3. Verwandte Arbeiten	15
3.1 Arbeiten mit den Strukturelementen von Lynch	15
3.2 Arbeiten, die Wissen aus der Raumkognitionsforschung umsetzen	16
3.2.1 Arbeiten mit Merkzeichen	16
3.2.2 Formalisierung von Routenanweisungen	17
3.2.3 Weitere Arbeiten	17
3.3 Arbeiten aus dem Bereich der mobilen Kartografie	18
4. Entwicklung des Prototyps	21
4.1 Operationalisierung der Strukturelemente	21
4.1.1 Strassen und Wege	21
4.1.2 Grenzen und Ränder	22
4.1.3 Bereiche	22

4.1.4 Brennpunkte	23
4.1.5 Merkzeichen	24
4.2 Kartografische Umsetzung	25
4.2.1 Kleines Display: Kartografische Einschränkungen.....	25
4.2.2 Darstellung der Strukturelemente.....	25
4.1 Testgebiet und Erfassung der Strukturelemente.....	29
4.1.1 Testgebiet	29
4.1.2 Erfassung der Strukturelemente	30
4.4 Daten und Datenaufbereitung.....	33
4.4.1 Daten	33
4.4.2 Datenaufbereitung	34
4.5 Technische Umsetzung	37
4.5.1 Grundlagen	38
4.5.2 Konzept und Grundlagen der Prototypentwicklung.....	39
4.5.3 Systemarchitektur.....	40
4.5.4 Die geografische Position.....	42
4.5.5 Die semantische Position	43
4.5.6 Platzierung von Symbolen entfernter Merkzeichen.....	51
4.5.7 Probleme bei der technischen Umsetzung	52
5. Evaluation.....	55
5.1 Testziel	55
5.2 Testdurchführung	56
5.3 Datenauswertung.....	58
5.3.1 Quantitative Auswertung.....	58
5.3.2 Qualitative Auswertung.....	62
6. Resultate	65
6.1 Zusammenfassung der Ergebnisse	65
6.1.1 Operationalisierung der Strukturelemente	65
6.1.2 Prototyp	66
6.1.3 Prototypevaluation	67
6.2 Diskussion	69
6.3 Ausblick	70
7. Bibliographie.....	73
Internetquellen.....	75
Anhang	77

Abbildungen

Abb. 1: Die äussere Gestalt von Boston.....	8
Abb. 2: Die grafischen Variablen.....	13
Abb. 3: Symbole zu den Strasseneigenschaften.....	26
Abb. 4: Situationskarte zum Brennpunkt Bellevue und Brennpunktsymbol	27
Abb. 5: Merkzeichensymbole	28
Abb. 6: Darstellung der Karten in den verschiedenen Zoom-Stufen.....	29
Abb. 7: Das Testgebiet: Die Innenstadt von Zürich.....	30
Abb. 8: Die wichtigsten Strukturelemente im Testgebiet.....	30
Abb. 9: Eigenschaften der Bahnhofstrasse	31
Abb. 10: Eigenschaften der Kirchgasse.....	31
Abb. 11: Die Grenze „Limmat“	32
Abb. 12: Der Brennpunkt "Central"	32
Abb. 13: Der Brennpunkt "Bellevue".....	32
Abb. 14: Das Merkzeichen "Sternwarte Urania"	33
Abb. 15: Das Merkzeichen "Grossmünster"	33
Abb. 16: Datenkachelung	36
Abb. 17: Systemarchitektur der Prototyp-Applikation.....	41
Abb. 18: Senkrechter Abstand zwischen Punkt und Linie	45
Abb. 19: Darstellung der Boundingbox um ein Liniensegment mit Toleranzbereich.....	45
Abb. 20: Toleranzbereiche entlang von Liniensegmenten	45
Abb. 21: Toleranzbereiche entlang von Liniensegmenten und um Linienpunkte.....	45
Abb. 22: Gerade Anzahl Schnittpunkte: Der Punkt liegt nicht im Polygon	48
Abb. 23: Ungerade Anzahl Schnittpunkte: Der Punkt liegt im Polygon	48
Abb. 24: Keine Schnittpunkte: Der Punkt liegt nicht im Polygon	48
Abb. 25: Darstellung der aufbereiteten Daten zur semantischen Verortung	50
Abb. 26: Schnittpunkt der Sichtachse mit dem Kartenrand.....	52
Abb. 27: Vergleich der Anzahl Antworten zwischen „Strassenname“	59
Abb. 28: Vergleich lokale Merkzeichen, entfernte Merkzeichen	61
Abb. 29: Zustimmungsgrad von Gruppen mit unterschiedlicher Testgebietkenntnis	62
Abb. 30: Printscreens vom Prototyp	67
Abb. 31: Darstellung der Mittelwerte (Säulen) und Medianwerte (Punkte).....	68

Tabellen

Tab. 1: Mögliche Zuordnung von Wegfindungsmethoden	7
Tab. 2: Datensätze für die verschiedenen Zoom-Ebenen.....	35
Tab. 3: Die Bedeutung der Felder eines GPRMC-Satzes	42
Tab. 4: Formeln „Abstand Punkt - Linie“	46
Tab. 5: Lagemasss-Vergleich lokale Merkzeichen, entfernte Merkzeichen	61
Tab. 6a: Operationalisierung der Strukturelemente	65
Tab. 6b: Operationalisierung der Strukturelemente	66

1. Einleitung

1.1 Motivation

Navigation und Wegfindung sind häufige Aktivitäten in unserem Alltag. Bei jeder Bewegung im geografischen Raum werden sie vom Menschen praktiziert: auf dem Weg zur Arbeit, beim Einkaufen oder bei Freizeitaktivitäten wie Wandern und Fahrradfahren. Navigations- und Wegfindungsaktivitäten sind so alltäglich, dass wir sie meistens nicht bewusst ausführen oder wahrnehmen. Fast ebenso alltäglich wie der Prozess des Navigierens ist der Gebrauch von Karten, Skizzen, Wegbeschreibungen und seit kurzem auch von portablen Computern und Mobiltelefonen als Navigationshilfen.

Aus der Kognitionsforschung ist heute sehr viel darüber bekannt, wie der Mensch navigiert und welche Prozesse dabei ablaufen. Erstaunlicherweise gibt es aber gerade in der Kartografie nur sehr wenige Ansätze, die dieses Wissen umsetzen. Erst seit kurzem wird bei der Entwicklung von benutzer- und kontextangepassten Karten für mobile Systeme der Frage nachgegangen, welche Karteninhalte für den Zweck der Navigation präsentiert werden müssen [Li04], [Zip03], [May03]. Dabei wird unter anderem festgestellt, dass der Inhalt von Navigationskarten von der Fortbewegungsart des Kartenbenutzers abhängt. Autofahrer benötigen andere Informationen als Radfahrer und diese benötigen wiederum andere Karteninhalte als Fussgänger [Zip03]. Bis jetzt wurden nur sehr wenige Navigationskarten für Fussgänger entwickelt, die sich auf Wissen aus der Raumkognitionsforschung abstützen. Die meisten dieser Forschungsprojekte beschränken sich auf die Beschreibung oder die Visualisierung von Routen. Es gibt Projekte, bei denen die Routenkarten im Wesentlichen mit zusätzlichen Merkzeichen angereichert werden [Fre99], [Eli03]. In anderen Projekten wird untersucht, aus welchen Grundelementen eine Wegbeschreibung bestehen muss, damit sie vom Menschen gut verstanden wird [Kli03], [Cor01]. Routenkarten oder Routenbeschreibungen lassen sich zum Auffinden eines Weges von A nach B gebrauchen. Falls der Benutzer aber aus irgendwelchen Gründen von diesem einen Weg abweichen will oder muss, hat er keine Informationen über den restlichen ihn umgebenden Raum zur Verfügung. Genau dasselbe trifft zu, wenn ein Mensch ohne festes Ziel unterwegs ist. Dies ist häufig bei Touristen der Fall, die sich eine neue Umgebung durch Erkundung erschliessen. Oft wechseln sich dabei zielgerichtete und erkundende Bewegungsmuster ab oder gehen ineinander über. Die Hilfsmittel, die heute zur Erkundung verwendet

werden, sind meistens herkömmliche Karten, die nach kartografisch-technischen Kriterien hergestellt wurden.

Die Motivation dieser Arbeit liegt darin, eine Applikation für das Erkunden des Raumes zu entwickeln, bei der die Karte aufgrund von Wissen aus der Raumkognitionsforschung aufbereitet wird.

1.2 Ansatz

Den Ansatz zu dieser Arbeit liefert die wegweisende Arbeit „The Image of the City“ von Kevin Lynch [Lyn60]. Lynch hat in den 50er Jahren die mentale Raumvorstellung von Bewohnern amerikanischer Städte untersucht. Aus den Ergebnissen seiner Studien konnte er fünf Elemente eruieren, die zusammen das mentale Bild einer Stadt konstituieren. Die von Lynch gefundenen Strukturelemente sind Wege, Grenzlinien, Bereiche, Brennpunkte und Merkzeichen. Zur Charakterisierung der Gestalt von Städten hat er zudem den Begriff der „Lesbarkeit“ eingeführt. Das Bild einer Stadt ist umso besser lesbar, je charakteristischer die fünf Strukturelemente zur Geltung kommen. Nach Golledge [Gol02] ist die Wegfindung in Städten, die eine einfach zu lesende Struktur aufweisen, einfacher als in Städten bei denen diese Struktur schwer zu lesen ist. Das Navigieren ist also umso einfacher, je besser die Lesbarkeit der Struktur einer Stadt ist.

Die Strukturelemente von Lynch sind bis heute anerkannt und werden unter anderem zum Entwurf von virtuellen Welten verwendet [Spa97], [Str99]. Sie dienen dazu, eine möglichst gut lesbare Welt zu konstruieren.

Der Ansatz zu dieser Arbeit besteht nun darin, die Strukturelemente von Lynch in einer Stadtkarte betont zu visualisieren. Dadurch soll der Kartenleser die Strukturelemente der Stadt leichter identifizieren und das Bild der Stadt leichter lesen können; die Navigation wird einfacher. Durch die Darstellung der Karte auf einem PDA (*Personal Digital Assistant*), verbunden mit einem GPS (*Global Positioning System*), können die Strukturelemente orts- und kontextabhängig aufbereitet werden. So können jeweils die Strukturelemente angezeigt werden, die für den Menschen die Navigation an einem bestimmten Ort in der Stadt erleichtern.

1.3 Ziel, Hypothesen und Abgrenzung

1.3.1 Ziel und Hypothesen

Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung einer Applikation für den Fussgänger in der Stadt. Sie soll das explorative Navigieren erleichtern. Als Ansatz dienen die Strukturelemente von Kevin Lynch. Sie sollen so operationalisiert werden, dass sie mit kartografischen Mitteln kommuniziert werden können. Als kartografisches Medium wird ein portabler Computer verwendet, der mit einem GPS-Empfänger gekoppelt ist. Dies ermöglicht eine orts- und kontextbezogene Informationsaufbereitung. Dem Kartenbenutzer sollen immer jene Strukturelemente präsentiert werden, die zur Orientierung und Navigation an seinem Standort hilfreich sind.

Die Diplomarbeit basiert auf den folgenden zwei Hauptfragestellungen:

- Wie können die Strukturelemente, die Kategorien der mentalen Raumvorstellung darstellen, für die kartografische Visualisierung operationalisiert werden?
- Wie können die operationalisierten Strukturelemente mit kartografischen Mitteln visualisiert werden?
- Kann sich der Mensch anhand einer Karte, die mit Strukturelementen ergänzt wurde, besser zurechtfinden als mit einer herkömmlichen Karte?

Die beiden Arbeitshypothesen lauten:

- „Die Strukturelemente von Kevin Lynch lassen sich operationalisieren und mit kartografischen Mitteln darstellen.“
- „Die Umsetzung der Strukturelemente von Kevin Lynch in einer kartografischen Applikation vereinfacht das explorative Navigieren im städtischen Raum.“

1.3.2 Abgrenzung des Themas

Für die Arbeit werden folgende Einschränkungen getroffen:

- Die Applikation unterstützt das explorative Navigieren, zielgerichtetes Navigieren wird nicht berücksichtigt. Es können weder Routen berechnet noch Routenbeschreibungen generiert werden.
- Die Zielgruppe der Applikation sind Fussgänger.

- Die Applikation ist nur im städtischen Raum anwendbar.
- Die Operationalisierung der Strukturelemente wird für eine digitale, interaktive und dynamische Kartenapplikation entwickelt. Es können keine gedruckten Karten hergestellt werden.
- Es wird keine Unterscheidung nach Benutzerprofilen gemacht. Der Prototyp ist eine erste Umsetzung, die von allen Benutzern verwendet werden kann.
- Die Strukturelemente für das Testgebiet werden manuell erhoben. Es gibt keine Bestrebungen, diese Elemente aus bestehenden Datensätzen automatisiert zu extrahieren.

1.4 Aufbau der Arbeit

Im einleitenden Kapitel wurden die Motivation und der Ansatz zu dieser Arbeit dargelegt. Im zweiten Kapitel werden die wissenschaftlichen Grundlagen zu dieser Arbeit beschrieben. Im ersten Unterkapitel (2.1) wird genauer auf die menschliche Navigation eingegangen. Danach werden die Strukturelemente von Kevin Lynch vorgestellt (2.2) und es werden die Grundlagen zur kartografischen Visualisierung präsentiert (2.3).

Im dritten Kapitel wird auf verwandte Arbeiten hingewiesen. Die Arbeiten sind gemäss ihrem Ansatz oder ihrer Zielsetzung geordnet. Zunächst werden Arbeiten vorgestellt, die ebenfalls die Strukturelemente von Lynch verwenden (3.1). Anschliessend werden verschiedene Arbeiten vorgestellt, die Wissen aus der Raumkognition umsetzen (3.2) oder im Bereich der mobilen Kartografie (3.3) angesiedelt sind.

Kapitel vier beschreibt die Umsetzung. Im ersten Unterkapitel wird die Operationalisierung der Strukturelemente erläutert (4.1). Danach werden die Wahl des Testgebietes und die Erfassung der Strukturelemente (4.2) beschrieben. In einem weiteren Unterkapitel wird auf die Datenaufbereitung eingegangen (4.3). Im vierten Unterkapitel (4.4) wird die Prototypentwicklung beschrieben, im Unterkapitel 4.5 wird die kartografische Visualisierung dargestellt.

Das fünfte Kapitel beschreibt, wie der Prototyp evaluiert wird. Zuerst werden die Evaluationsziele (5.1) definiert und danach wird auf die Durchführung (5.2) der Evaluation eingegangen. Die Datenauswertung (5.3) folgt am Schluss dieses Kapitels.

Das sechste Kapitel schliesst diese Arbeit ab. Die erzielten Ergebnisse werden präsentiert (6.1) und diskutiert (6.2). Mit einem Ausblick (6.3) wird die Arbeit abgeschlossen.

2. Grundlagen

Die Navigations- und die Wegfindungsforschung haben sich in den kognitiven Wissenschaften zu zentralen Forschungsthemen entwickelt [Kli03]. Forscher und Forscherinnen aus verschiedenen Disziplinen sind daran interessiert, das Navigationsverhalten des Menschen zu verstehen. Die wichtigsten Forschungsrichtungen sind: Die Aneignung von räumlichem Wissen, die mentale Repräsentation von räumlichem Wissen, die Umsetzung von räumlichem Wissen und die Kommunikation von räumlichem Wissen [Mar99].

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Kommunikation von räumlichem Wissen. Mit kartografischen Mitteln soll jenes Wissen über den Raum kommuniziert werden, das der Mensch zum Navigieren benötigt. Den Ansatz zu dieser Arbeit bilden die Strukturelemente von Kevin Lynch.

Im ersten Unterkapitel werden zunächst die Grundlagen zur menschlichen Navigation erläutert. Die Arbeit von Lynch und die daraus resultierenden Grundlagen werden im zweiten Unterkapitel beschrieben. Im letzten Teil werden die kartografischen Grundlagen zur Visualisierung der Strukturelemente präsentiert.

2.1 Navigation

2.1.1 Navigationskomponenten

Navigation besteht aus den zwei Komponenten Bewegung und Wegfindung [Mon05]. Die Bewegungskomponente besteht aus den motorischen Fähigkeiten zur Fortbewegung sowie den sensorischen Fähigkeiten zur Erfassung des Raumes. Die Bewegungskomponente ermöglicht, dass wir durch Türen hindurchgehen können ohne gegen die Wand zu stoßen, dass wir Hindernissen ausweichen können, dass wir eine eingeschlagene Richtung beibehalten können oder dass wir ein Ziel anvisieren können. Perzeption und Handlung sind die zentralen Elemente dieser Navigationskomponente. Die Wegfindungskomponente besteht aus dem bewussten Planen der Bewegung im Raum und dem Treffen von Entscheidungen. Prozesse wie die Routenplanung, die Wahl zwischen verschiedenen Routen oder der Einbezug von mentalem Raumwissen gehören zur Wegfindung. Planung, Entscheidung und Erinnerung sind die zentralen Elemente.

Der Navigationsbegriff wird oft auch im Zusammenhang mit dem Durchforsten von Datenbeständen oder mit der Bewegung im Cyberspace gebraucht. Es muss aber betont werden, dass die Navigation, wie sie hier verstanden wird, im geografischen Raum stattfindet. Der Navigationsraum ist der Raum, durch den wir uns als Menschen real hindurchbewegen können. Es ist der Raum, den wir bewohnen und in dem wir uns von Ort zu Ort bewegen. Typischerweise kann der Raum nicht als Ganzes überblickt werden [Tve03].

Nach Montello [Mon05] ist die Orientierung ein weiteres wichtiges Element der Navigation. Unter geografischer Orientierung wird die Verortung von uns selbst im Bezug auf andere Objekte verstanden. Die Orientierung ist dabei immer relativ zu bestimmten Bezugspunkten und wird durch Winkel und Distanzen zu diesen Bezugspunkten definiert. Ein System von solchen Bezugspunkten wird als Referenzsystem [Mon05] oder auch als Referenzrahmen [Tve03] bezeichnet.

Beim Wegfindungsprozess kommt intern gespeichertes Raumwissen zur Anwendung. Für das mental gespeicherte Raumwissen wird meistens die Metapher der mentalen Karte gebraucht. Andere gebräuchliche Metaphern sind „mentaler Atlas“ oder „mentale Collage“ [Tve93]. Der am häufigsten verwendete Begriff der „mentalen Karte“ suggeriert zwar, dass im Kopf eine kartenähnliche Repräsentation des Raumes inklusive Topologie und Metrik besteht. Effektiv ist die mentale Repräsentation jedoch bruchstückhaft und unvollständig. Räumliches Wissen besteht aus perspektivischen Bildern, Routenbeschreibungen, Wegsequenzen oder kartenähnlichen Vorstellungen. Neben dem internen Wissen kommen bei der Wegfindung auch externe Artefakte zur Anwendung. Externe Artefakte können Karten, Skizzen, Wegbeschreibungen, Fotografien oder digitale Geräte wie Computer oder Mobiltelefone sein.

2.1.2 Wegfindungsmethoden

Golledge [Gol02] unterscheidet vier Wegfindungsmethoden. Die zwei wichtigsten werden als *Homing* und *Piloting* bezeichnet - die beiden anderen werden *Chunking* und *using a template or schemata* genannt. In der Arbeit von Montello [Mon05] lassen sich sehr ähnliche Unterscheidungen finden - einzig die Methode *Chunking* wird bei ihm nicht erwähnt. Beim *Homing* - andere Bezeichnungen sind *dead-reckoning* oder *path integration* - werden die Position und die Bewegungsrichtung durch die Berechnung der Distanz und der Richtung zum Ausgangspunkt kontinuierlich aktualisiert. Das *Piloting* ist eine merkzeichen-basierte Methode und funktioniert sehr ähnlich wie die Orientierung. Der Unterschied besteht darin, dass die aktuelle Position laufend anhand der sich relativ zum Beobachter verschiebenden Merkzeichen neu bestimmt wird. Beim *Chunking* wird der Raum in Einzelstücke unterteilt, die leichter merk-

und abrufbar sind. Als letzte Methode wird der Gebrauch von Karten genannt. Sie kommen vor allem zur Anwendung, um lückenhaftes räumliches Wissen zu ergänzen.

Allen [All99] bezeichnet die oben beschriebenen Wegfindungsmethoden als Mittel zur Wegfindung. Wichtiger ist für ihn jedoch die Differenzierung nach den Motivationen zur Wegfindung. Er beschreibt drei Motivationstypen: Die Wegfindung um ein bekanntes Ziel zu erreichen, die Wegfindung um ein unbekanntes Ziel zu erreichen sowie das explorative Wegfinden, mit dem Ziel wieder zum Ausgangspunkt zurückzukehren. Je nach Motivation kommen andere Wegfindungsmethoden zur Anwendung. Zusätzlich zu den Wegfindungsmethoden von Montello und Golledge erwähnt Allen als weitere Methoden das Folgen einer markierten Route (*following a marked trail*) und die gewohnheitsmässige Fortbewegung (*habitual locomotion*). Unter der gewohnheitsmässigen Bewegung versteht Allen die Fortbewegung durch eine sehr gut bekannte Umgebung. Es findet dabei kein eigentlicher Wegfindungsprozess statt, weil das Abschreiten der Strecke völlig automatisiert ist.

In der untenstehenden Tabelle wurde die Darstellung von Allen [All99] mit den Wegfindungsmethoden der anderen Autoren erweitert.

Methode \ Motivation	Zielgerichtetes Wegfinden		Exploratives Wegfinden
	bekannte Umgebung	unbekannte Umgebung	
<i>Piloting</i>	x	x	x
<i>Homing</i>	x		x
<i>Chunking</i>	x		(x)
<i>Using a template</i>	(x)	x	x
<i>Trail following</i>	x	x	x
<i>Habitual locomotion</i>	x		
<i>Cognitive map</i>	x	x	x

Tab. 1: Mögliche Zuordnung von Wegfindungsmethoden zu den verschiedenen Motivationstypen. Erweitert nach Allen [All99].

2.2 Kevin Lynch: The Image of the City

Kevin Lynch untersuchte in seinem Buch „The Image of the City“ [Lyn60] die Gestalt oder das Bild von Städten. Er untersuchte, wie Städte von ihren Einwohnern wahrgenommen werden und wie ihre Gestalt die mentale Vorstellung der Menschen prägt. Für seine Studien wählte er die amerikanischen Städte Bosten, Los Angeles und Jersey City aus. Dabei entwickelte er das Konzept der „Lesbarkeit“ einer Stadt. Unter Lesbarkeit versteht Lynch die Leichtigkeit, mit der die einzelnen Teile einer Stadt erkannt und zu einem zusammenhängenden Muster aneinandergesetzt werden können.

Zur Untersuchung, wie die Einwohner den Stadtraum wahrnehmen, führte Lynch verschiedene Studien durch. Probanden wurden aufgefordert, eine gezeichnete Skizze ihrer Stadt zu erstellen. Andere Personen mussten in einem Interview verschiedene Wege durch die Stadt detailliert beschreiben. Besonders auffallende oder besonders einprägsame Stadtteile sollten vermerkt werden. Mit einigen Studienteilnehmern wurden weitere Befragungen durchgeführt. So mussten zum Beispiel Fotografien von bestimmten Orten in der Stadt auf einem Stadtplan positioniert werden. Die Person wurde dabei aufgefordert, anzugeben gemäss welchen Anhaltspunkten ein Bild identifiziert werden konnte. Mit den interviewten Personen wurden auch Ortsbegehungen durchgeführt, wo sie anderen Teilnehmern die zuvor imaginär beschriebene Route detailliert beschreiben mussten.

Bei der Auswertung der Ergebnisse dieser Experimente konnte Lynch fünf Elemente ableiten, aus welchen die mentale Vorstellung über eine Stadt zusammengesetzt ist. Diese fünf Strukturelemente sind: Wege, Grenzlinien (Ränder), Bereiche, Brennpunkte und Merkzeichen.

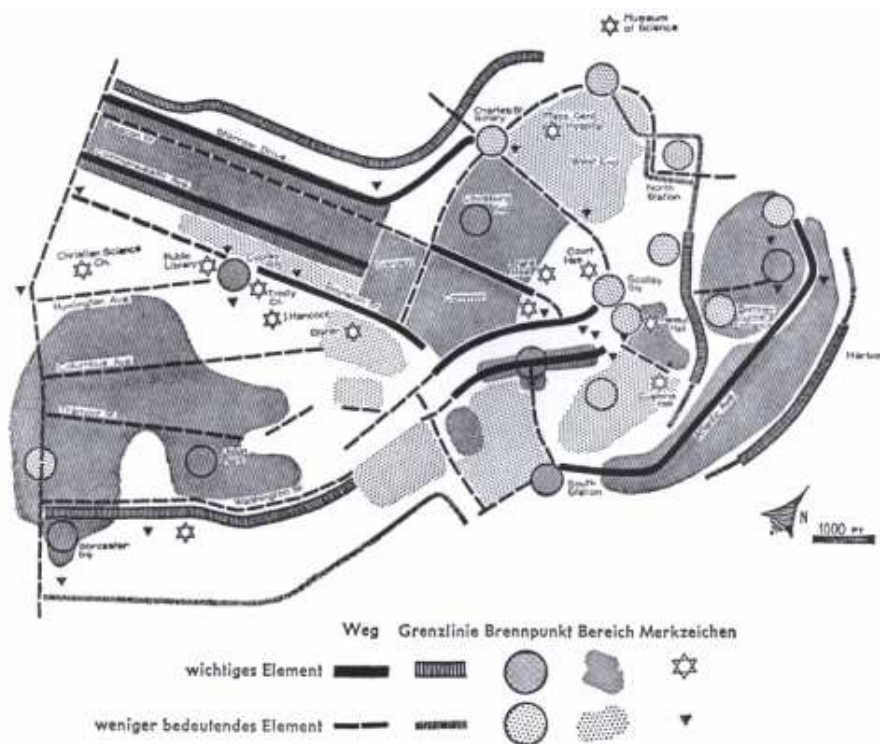


Abb. 1: Die äussere Gestalt von Boston entsprechend den Aufzeichnungen geschulter Beobachter [Lyn60]

2.2.1 Wege (Paths)

Wege bilden die vorherrschenden Elemente in der mentalen Vorstellung einer Stadt. Wege können insbesondere durch die Konzentration bestimmter Benutzungszwecke eine besondere Identität erlangen. Beispiele dafür sind die Konzentration von Verkehrs- oder Fussgängerströmen, die Konzentration von Kaufhäusern (Einkaufsstrasse) oder die Konzentration von kulturellen Einrichtungen (Theater, Kino). Charakteristische räumliche Eigenschaften können bestimmten Wegen hohe Einprägsamkeit verleihen. Extrem enge oder breite Strassen fallen besonders auf. Im Allgemeinen wird der Begriff „breit“ mit Hauptstrassen und der Begriff „eng“ mit Nebenstrassen in Verbindung gebracht. Ein weiteres Merkmal zur Identifizierung von Strassen können besonders charakteristische Fassaden sein. Wege können je nach Fortbewegungsart unterschiedlich wahrgenommen werden. Aus der Perspektive eines Autofahrers ist eine Stadtautobahn ein verbindendes Element, während sie aus der Sicht des Fussgängers als Grenzlinie wahrgenommen wird. Eine Strasse kann auch als Rand oder Begrenzung eine besondere Bedeutung erlangen, wenn sie durch ihre Lage zwei voneinander verschiedene Stadtbereiche trennt. Wichtig für die Lesbarkeit einer Strasse ist deren Stetigkeit. Die durchgehende „Spur“ des Gehwegs, gleich bleibende Strassenbreite sowie homogene Nutzung verleihen einer Strasse Kontinuität. Strassen können je nach Richtung in der sie begangen werden unterschiedlich wirken. Diese Charakteristik wird als Richtungsqualität bezeichnet. Eine weitere wichtige Eigenschaft eines Weges ist die Zieleigenschaft. Strassen mit bekannten Anfangs- und Endpunkten können leichter identifiziert werden als Strassen bei denen dies nicht der Fall ist.

2.2.2 Grenzlinien oder Ränder (Edges)

Grenzlinien sind lineare Elemente, welche in der Regel nicht als Strasse dienen. Es sind seitliche Bezugslinien, zum Beispiel in Form von Flüssen, Küsten, Eisenbahnstrecken oder auch Strassen, die entweder einen deutlichen Rand bilden oder Grenzen zwischen verschiedenen Gebieten darstellen. Bei vielen Grenzen stehen die trennenden Eigenschaften im Vordergrund, sie bilden Brüche im mentalen Bild der Stadt. Grenzlinien sind besonders ausgeprägt, wenn sie nicht nur visuell deutlich, sondern zudem auch unzugänglich für Querbewegungen sind. Grenzlinien können aber auch im Sinn eines Saumes oder einer Naht zwei Gebiete aneinanderfügen und verbinden. Grenzlinien sind wichtige Elemente der Stadtgliederung. Deutliche Sichtbarkeit und Kontinuität sind grundlegend für ihre Bedeutung. Wie Wege können auch

Grenzl意思en Richtungsqualitäten haben. Stark ausgeprägte Grenz- oder Randlinien können sehr gute Orientierungselemente sein (z.B. Uferlinien oder Flüsse).

2.2.3 Bereiche (Districts)

Bereiche sind relativ grosse Stadtbezirke, die einen einheitlichen Charakter haben. Sie gliedern das Stadtbild und erleichtern die Groborientierung. Bereiche werden als zweidimensionale Gebiete mit einheitlichem individuellem Charakter wahrgenommen, der oft aus historischen oder sozialen Hintergründen entsteht. Die typischen physischen Eigenschaften von Bereichen sind thematische Einheit und Kontinuität. Komponenten, die einem Bereich Kontinuität verleihen, sind: Gliederung, Raum, Form, Detail, Symbol, Gebäudetyp, Benutzungszweck, Verkehr, Einwohner, Zustand der Bauwerke, Topografie. Wo die prägenden Eigenschaften klar erkennbar sind, werden die typischen Eigenschaften gewöhnlich als charakteristisches Bündel einer thematischen Einheit zugeordnet. Oft sind aber nur wenige Unterscheidungsmerkmale vorhanden, so dass es nicht für eine vollkommene thematische Einheit ausreicht. Dann ist die Abgrenzung eines Bereiches verschwommen und individuell unterschiedlich.

Bereiche unterscheiden sich weitgehend von der übrigen Stadt, wobei sie teilweise scharf und klar abgegrenzt sind, häufig aber auch stark dehnbar oder überhaupt keine Begrenzungen aufweisen. Einige Bereiche sind ganz auf sich selbst bezogen und haben wenig Zusammenhang mit der restlichen Stadt, während andere nach aussen gekehrt und mit den sie umgebenden Elementen eng verbunden sind.

2.2.4 Brennpunkte (Nodes)

Brennpunkte sind strategische Knotenpunkte, die durch das Zusammentreffen von Strassen oder durch die Konzentration von Eigenschaften entstehen. Anders als der Begriff andeutet, handelt es sich dabei aber nicht um Punkte, sondern um grosse Plätze und ausgedehnte Bereiche. Im Bezug auf das Siedlungsgebiet einer Stadt können beispielsweise Zentraldistrikte als Brennpunkte bezeichnet werden. Aus internationaler Perspektive wiederum kann eine ganze Stadt als Brennpunkt aufgefasst werden.

Brennpunkte sind besonders wichtig für die Navigation in der Stadt, denn hier müssen Entscheidungen getroffen werden. Neben grossen Kreuzungen und Plätzen gelten auch Umsteigepunkte des öffentlichen Verkehrs, insbesondere grosse Bahnhöfe, als Brennpunkte. Thematische Brennpunkte sind durch einen typisch gestalteten Raum sowie durch eine bestimmte Nutzung charakterisiert (z. B. ein Geschäftszentrum um einen grossen Platz). Brennpunkte

mit starker Ausstrahlung können ihre Charakteristik auf die Umgebung übertragen und ganze Stadtteile prägen.

Im Grunde kann jede Strassenkreuzung als Brennpunkt betrachtet werden, doch meist fällt eine durchschnittliche Kreuzung zu wenig auf, als dass sie einen bleibenden Eindruck im mentalen Bild hinterlässt. Die Struktur des mentalen Bildes kann nur eine limitierte Anzahl Brennpunkte fassen.

2.2.5 Merkzeichen (Landmarks)

Merkzeichen sind optische Bezugspunkte, die sich ausserhalb des Betrachters befinden. Meist handelt es sich dabei um einfache Objekte wie Gebäude, Schilder, Warenhäuser oder Anhöhen. Sie können sehr unterschiedliche Grössenordnungen aufweisen und treten sowohl in naher Umgebung als auch in grosser Distanz auf. Je vertrauter eine Person mit einer Stadt ist, umso mehr verlässt sie sich auf Merkzeichen. Diese werden als einzelne Elemente aus einer Unmenge von Möglichkeiten ausgesondert und sind Schlüsselfiguren zur Identifizierung und Gliederung des Bildes. Einmaligkeit und Spezialisierung sind die Grundeigenschaften von Merkzeichen. Klare und einfache Formen, die Lage an Knotenpunkten, auffallende räumliche Situationen und starke Kontraste zwischen dem Objekt und seinem Hintergrund verstärken ihre Bedeutung.

Merkzeichen können durch räumliche Hervorhebung in zweierlei Weise wirken: zum einen dadurch, dass sie aus Distanz von vielen Orten her sichtbar sind, zum anderen durch die Schaffung eines lokalen Kontrastes zur Umgebung.

2.3 Grundlagen zur kartografischen Visualisierung

In diesem Abschnitt sind die wichtigsten Grundlagen zur kartografischen Visualisierung in kurzer Form aufgeführt. Zunächst werden die Begriffe Karte und Kartografie definiert. Danach wird auf das kartografische Zeichensystem eingegangen, welches die Grundlage für jegliche kartografische Visualisierung darstellt. Innerhalb des Zeichensystems der Kartografie sind dabei die grafischen Variablen von Bertin von grosser Bedeutung.

2.3.1 Definition Karte und Kartografie

Karte

Nach einer Definition der ICA (*International Cartographic Association*) von 1995 ist eine Karte das symbolisierte Abbild der geografischen Realität. Sie repräsentiert vom Kartenautor ausgewählte Eigenschaften oder Charakteristiken der Realität und wird gebraucht, wenn räumliche Sachverhalte von primärer Relevanz sind. [WWW1]

Kartografie

Eine umfassende Definition für den Begriff Kartografie stammt ebenfalls von der ICA [WWW1]: „Kartografie ist die Wissenschaft, Technik und Kunst der Herstellung von Karten und kartenverwandten Darstellungen, ausgehend von unmittelbaren Beobachtungen und/oder der Auswertung von Quellen, mit den Arbeitsvorgängen des Kartentwerfens, der Kartengestaltung, der Ausführung des Kartenoriginals und der Kartenvervielfältigung, sowie die Lehre der Kartenbenutzung.“ In der neueren Forschung wird die Kartografie jedoch nicht nur als Kunst, Wissenschaft und Technik der Kartenherstellung verstanden, sondern viel mehr auch als Kommunikationsmedium für räumliches Wissen [Slu01]. Die Kartografie kann im weiteren Sinn als grafische Sprache bezeichnet werden, mit der räumliche Sachverhalte kommuniziert werden können.

2.3.1 Kartografisches Zeichensystem, grafische Variablen

Die typischen grafischen Darstellungsweisen der Kartografie lassen sich als semiotisches Zeichensystem auffassen. Das kartografische Zeichensystem setzt sich aus den atomaren Elementen Punkte, Linien und Flächen zusammen. Diese Grundelemente können für sich alleine stehen oder können zusammengesetzt Zeichen (Signaturen) und grafische Gefüge (Muster) bilden. Die kartografischen Zeichen stellen für sich allein sowie aus der Beziehung untereinander codierte räumliche Information dar [Hak94]. Mit der Anwendung dieser grafischen Mittel soll der Kartennutzer bei der gedanklichen Verarbeitung von räumlichen Informationen unterstützt werden [Tai02].

Die grafischen Variablen

Bertin [Ber74] hat mit der grafischen Semiologie eine grundlegende Theorie zur (karto-) grafischen Darstellung von Daten entwickelt. Zur zweidimensionalen Darstellung der atomaren Elemente des Zeichensystems (Punkt, Linie, Fläche) werden sechs grafische Variablen unterschieden: Grösse, Helligkeit, Muster, Farbe, Richtung und Form. Als weitere Eigenschaft

kommt die Position jedes grafischen Objektes dazu. Durch die Variation der grafischen Variablen kann die zu vermittelnde Information modifiziert werden.

Die grafischen Variablen unterscheiden sich durch bedeutungstragende Eigenschaften. Bertin unterscheidet vier Eigenschaftstypen:

- Assoziative oder dissoziative Eigenschaft: gleichmässige oder unterschiedliche Sichtbarkeit von verschiedenen Varianten
- Selektive Eigenschaft: verschiedene Varianten werden unterschiedlich wahrgenommen
- Ordnende Eigenschaft: unter verschiedenen Varianten kann eine Rangordnung spontan wahrgenommen werden
- Quantitative Eigenschaft: unter verschiedenen Varianten wird spontan eine mengenmäßige Vorstellung beim Betrachter erzeugt

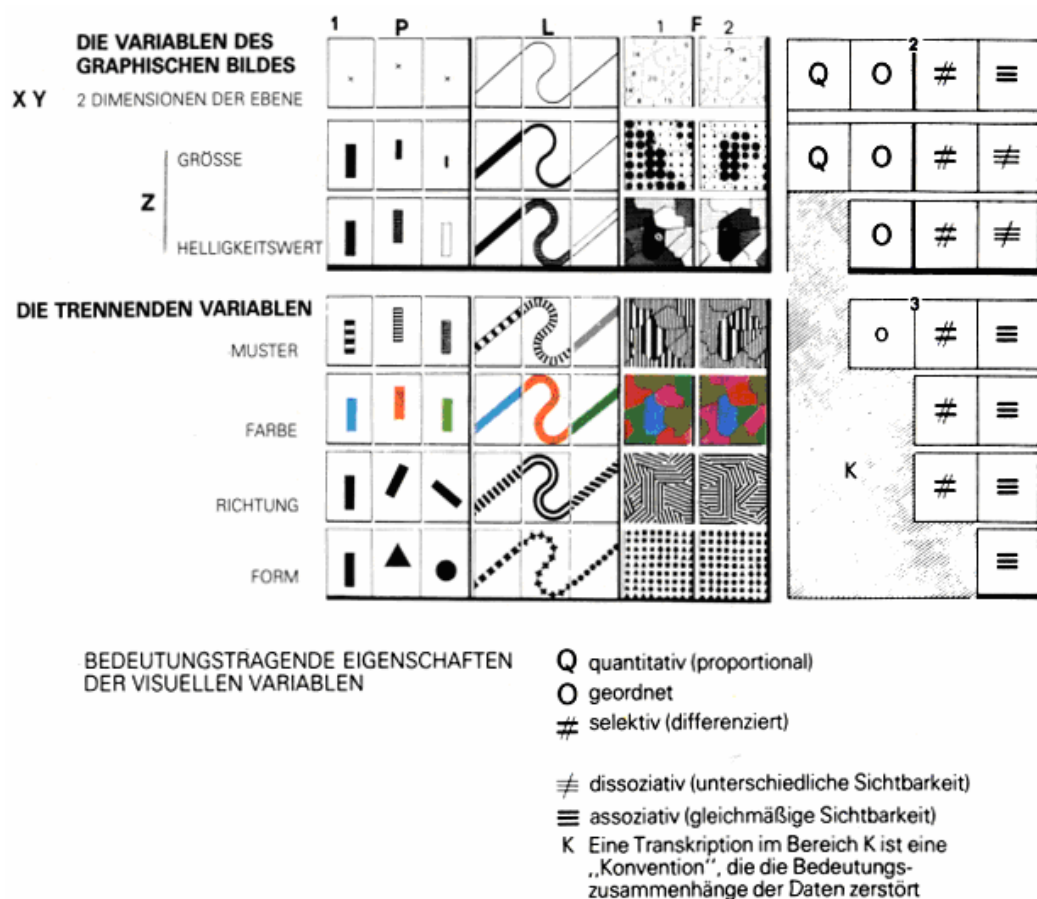


Abb. 2: Die grafischen Variablen und deren bedeutungstragenden Eigenschaften [Ber82].

3. Verwandte Arbeiten

In der aktuellen Forschungsliteratur lassen sich viele Arbeiten finden, die in ihrem Ansatz oder in ihrer Zielsetzung verwandt sind mit der vorliegenden Arbeit. Um die Übersicht über die verwandten Arbeiten zu erleichtern, sind sie nach dem jeweiligen Ansatz oder der jeweiligen Zielsetzung gruppiert. Vielen Arbeiten gemeinsam ist die Bestrebung, Erkenntnisse aus der Raumkognitionsforschung so umzusetzen, dass für den Mensch die Navigation oder die Wegfindung erleichtert wird.

3.1 Arbeiten mit den Strukturelementen von Lynch

Auf die Arbeit von Lynch beziehen sich unzählige Arbeiten im Bereich der Raumkognition. Zur direkten Anwendung kommen die Strukturelemente allerdings eher selten. Die Strukturelemente werden meist als Grundkomponenten der mentalen Karte anerkannt, werden dann aber oft nicht weiter verwendet. Eine Ausnahme bildet eine Reihe von Arbeiten, die sich mit dem Design von virtuellen Welten beschäftigt. Dabei lassen sich zwei Hauptanwendungen der Strukturelemente unterscheiden: die Strukturierung von Datenräumen und das Entwerfen von virtuellen 3D-Welten.

Die „*City of News*“ ist ein Projekt in einer virtuellen urbanen Informationslandschaft [Spa97]. Mit einem Webbrowser kann durch diese Landschaften navigiert werden. Dabei wird die Fähigkeit des Menschen angesprochen, räumliche Strukturen intuitiv und ganzheitlich zu erfassen. Die „*City of News*“ ist in Quartiere gegliedert und durch Strassen erschlossen. Zur Charakterisierung der Quartiere und zur besseren Lesbarkeit der Strukturen werden die Strukturelemente von Lynch bewusst eingesetzt und platziert. Eine ähnliche Absicht verfolgt das Projekt LEADS – „*Legibility for Abstract Data Spaces*“ [Ing96]. LEADS ist ein System, welches den Output von anderen Datenvisualisierungssystemen weiterverarbeitet und den Datenraum gemäss den Strukturelementen von Lynch gliedert.

Das Projekt „*WayMaker*“ geht in eine andere Richtung [Str99]. *WayMaker* ist ein Programm mit dem über ein grafisches Interface die Strukturelemente von Lynch in einer Karte platziert werden können. Im Anschluss kann vom Computer für jeden beliebigen Punkt in der Karte ein Bild aus Strassenperspektive erzeugt werden. Das Programm kann als Design-Werkzeug

in Planungsprozessen eingesetzt werden. Zudem kann damit das menschliche Verständnis von räumlichen Bezügen in grossräumigen Umgebungen erforscht werden.

Bei Darken & Peterson [Dar00] geht es unter anderem darum, ein Regelwerk für die Gestaltung von virtuellen 3D-Landschaften zu erstellen. Sie berücksichtigen dabei viele Arbeiten aus der Raumkognitionsforschung. Zur Strukturierung des Raumes werden die Strukturelemente von Lynch verwendet.

3.2 Arbeiten, die Wissen aus der Raumkognitionsforschung umsetzen

Es gibt eine grosse Anzahl von Arbeiten, die versuchen, Erkenntnisse aus der Raumkognitionsforschung in Navigationshilfen für den Menschen umzusetzen. In diesen Arbeiten geht es hauptsächlich um Wegbeschreibungen oder um Routenanweisungen. Die Routen werden dabei kartografisch und/oder verbal aufbereitet.

3.2.1 Arbeiten mit Merkzeichen

In vielen Arbeiten werden hauptsächlich Merkzeichen verwendet. Merkzeichen haben den Vorteil, dass sie als statische Punktobjekte relativ leicht operationalisierbar sind. Zudem haben verschiedene Studien gezeigt, dass Merkzeichen für die Navigation besonders wichtig sind [May03].

Raubal und Winter [Rau02] haben eine Methode entwickelt, bei der Routeninstruktionen mit Merkzeichen-Informationen angereichert werden. Sie versuchen, für jeden Punkt oder jede Kreuzung, wo eine Entscheidung bezüglich der Wegrichtung getroffen werden muss, ein möglichst gutes Merkzeichen zu finden. Ist das Merkzeichen identifiziert, wird es in die verbale Routenanweisung einbezogen.

Einen ähnlichen Ansatz verfolgen auch Hampe und Elias [Ham03]. Sie versuchen ebenfalls Routen mit Merkzeichen zu versehen. Es wird jedoch berücksichtigt, dass je nach Fortbewegungsart (Auto, Fahrrad, zu Fuss) andere Merkzeichen aufbereitet werden müssen. Ausserdem wird mittels einer Sichtbarkeitsanalyse sichergestellt, dass nur solche Merkzeichen verwendet werden, die von einem bestimmten Punkt aus auch wirklich sichtbar sind. Die Merkzeichen werden in einer Karte auf einem mobilen Endgerät visualisiert.

Ebenfalls mit Merkzeichen arbeitet eine Gruppe um Lee [Lee01]. Ein Hauptanliegen ihrer Arbeit ist es, die Übersichtsperspektive der Karte („air-perspective“) mit der Strassenperspektive des Fussgängers („ground-perspective“) zu vereinen. Dazu wird die Kartendarstellung per-

spektivisch gekippt und die Merkzeichen werden als Fotografien in die Szenerie eingefügt. Dem Umstand, dass Merkzeichen von verschiedenen Seiten unterschiedlich aussehen, wird Rechnung getragen, indem die Merkzeichen von allen Seiten fotografisch aufgenommen werden.

Eine weitere Arbeit, die sich mit Merkzeichen befasst, wurde am International Symposium on Generalization of Information (ISGI) in Berlin vorgestellt [Kru05]. Ziel dieser Arbeit war es, Übersichts- und Routenkarten für Fussgänger herzustellen. Als wichtige visuelle Hilfsmittel zur Navigation werden Merkzeichen hervorgehoben. Dabei werden drei Typen von Merkzeichen unterschieden: Merkzeichen entlang von Routen, Merkzeichen an Kreuzungen (sog. Entscheidungspunkte) und entfernte Merkzeichen.

3.2.2 Formalisierung von Routenanweisungen

Klippel [Kli03] formalisiert primitive Bausteine von Routen als Wayfinding-Choreme. Seiner Arbeit liegt ein funktional – handlungsorientierter Ansatz zugrunde. Anders als bei strukturellen Ansätzen, bei denen die physische Präsenz eines Objektes im Raum relevant für die Navigation ist (z. B. eine Kreuzung), liegt im Ansatz von Klippel der Fokus auf der Handlung, die an einer Kreuzung vollzogen werden muss (z.B. Abbiegen nach rechts). Die Wayfinding-Choreme bilden die Bausteine, aus denen beliebig komplexe Routenanweisungen in verbaler oder grafischer Form zusammengesetzt werden können.

3.3.3 Weitere Arbeiten

May hat mit seinem Team [May03] eine Studie durchgeführt, um herauszufinden, welche Information ein Fussgänger zur Navigation in der Stadt benötigt. Aus den gewonnenen Erkenntnissen haben sie Anforderungen an ein zukünftiges Navigationssystem definiert, um Fussgänger von einem Startpunkt zu einem Zielpunkt zu leiten. Aus Feldversuchen konnten sie fünf wichtige Elemente abstrahieren: Distanz, Kreuzungspunkte/Abzweigungen, Strassentyp, Strassenname, Merkzeichen. Die von ihnen gefundenen Elemente lassen sich mehr oder weniger direkt auf die Strukturelemente von Lynch zurückführen. Die Elemente Strassentyp und Strassenname gehören bei Lynch zu den Strasseneigenschaften. Die Knotenpunkte und Abzweigungen entsprechen den Brennpunkten, die Merkzeichen entsprechen sich eins zu eins. Einzig die Distanzangabe kann, als referenzierende Grösse, auf keines der Strukturelemente zurückgeführt werden.

Bei einer Arbeit von Agrawala und Stolte [Agr03] wird versucht, Routenkarten so aufzubereiten, dass sie besonders gut lesbar sind. Die Routenkarte wird in einer skizzenähnlichen Darstellung aufbereitet. Die Skizze ist immer genau dann sehr detailreich, wenn viele Kreuzungen vorhanden sind und demnach Entscheidungen getroffen werden müssen. Auf Wegabschnitten ohne Kreuzungen wird die Skizze stark generalisiert und vereinfacht.

3.3 Arbeiten aus dem Bereich der mobilen Kartografie

Es gibt heute eine Vielzahl an mobilen Computern oder Telefonen, die über ein grafisches Display verfügen. Dadurch eröffnet sich für die Kartografie ein neues Tätigkeits- und Forschungsfeld. Da es schon immer ein Hauptzweck von Karten war, als Navigations- und Orientierungshilfe zu dienen, ist es nahe liegend, dass sich die Kartografie mit dem Vermitteln von Rauminformation über mobile Endgeräte beschäftigt. Es gibt daher einige Arbeiten von Kartografen, die sich mit Forschungsfragen oder dem Entwurf und der Entwicklung von mobilen Navigationssystemen für Fussgänger befassen. Die Displays der mobilen Geräte sind klein, daher besteht ein Bedarf an Konzepten, wie die für die Navigation relevanten Informationen effektiv kommuniziert werden können.

Zipf [Zip03] befasst sich mit aktuellen Forschungsfragen der mobilen Kartografie und der damit verbundenen benutzer- und kontextspezifischen Kartengenerierung. Er sieht die kartenspezifischen Aufgaben von mobilen Geräten im Wesentlichen in der Navigation und der Orientierung. Als wichtigste Kartenelemente zur Navigation werden mit Bezug auf die Arbeit von Freska [Fre99] Verkehrswege und Merkzeichen definiert.

Gartner [Gar05] befasst sich mit der Rolle der Multimedia-Kartografie als Werkzeug für ortsabhängige Fussgänger-Navigationsdienste (*location-based mobile pedestrian navigation services*). Neben grundsätzlichen Überlegungen zur Lokalisierung von mobilen Geräten und anderen technischen Voraussetzungen geht es um den Einsatz der Kartografie als Wegfindungswerkzeug. Zusätzlich zur klassischen kartografischen Darstellung wird dabei auch die Informationsvermittlung mittels verschiedener Medien (Bilder, Filme, Ton) behandelt. Die Arbeit bezieht sich auf verschiedene Studien, die sich mit der Datenvisualisierung für mobile Endgeräte mit kleinen Displays befassen.

Beim EU-Projekt GiMoDig (*Geospatial info-mobility service by real-time data-integration and generalization*) [Nis03] geht es darum, Methoden zu entwickeln um den mobilen User einfach mit Geodaten beliefern zu können. In einem Teil des Projektes geht es darum, Geodaten für die Navigation aufzubereiten. Dabei müssen die Daten insbesondere wegen der kleinen

Displaygrösse vereinfacht dargestellt werden. Die Herleitung von Elementen für die Navigation erfolgt dabei vor allem nach kartografisch-technischen Überlegungen.

4. Entwicklung des Prototyps

Die Strukturelemente von Kevin Lynch [Lyn60] bilden, wie bereits in der Einleitung beschrieben, den Ansatz zu dieser Arbeit. In diesem Kapitel wird nun das Vorgehen beschrieben, wie die Strukturelemente von Lynch zur Entwicklung eines Navigationsassistenten für Fussgänger in der Stadt verwendet werden.

Zuerst werden die Strukturelemente operationalisiert und visualisiert, so dass sie in einer kartografischen Applikation umgesetzt werden können. Danach wird ein Testgebiet festgelegt, in welchem die Applikation zum Einsatz kommen soll. In diesem Testgebiet werden die Strukturelemente von Lynch erhoben. Sie werden mit aufbereiteten geografischen Daten für das Testgebiet ergänzt. Im nächsten Schritt wird ein Prototyp entwickelt, der als technische Grundlage für die Visualisierung der Strukturelemente dient. Die Evaluation des Prototyps wird im fünften Kapitel beschrieben. Die Resultate der Evaluation liefern die Daten zur Bewertung des Prototyps und zur Überprüfung der Arbeitshypothese.

4.1 Operationalisierung der Strukturelemente

Die Strukturelemente von Lynch beschreiben abstrakte mentale Kategorien, die aus den Raumvorstellungen von Probanden abstrahiert wurden. In diesem Kapitel wird gezeigt, wie die Strukturelemente operationalisiert werden, um sie anschliessend mit kartografischen Mitteln umsetzen zu können. In den nächsten Abschnitten werden die Strukturelemente nochmals kurz beschrieben, danach folgen die dazugehörigen Ansätze und Ideen zur Operationalisierung. Bei der Operationalisierung der Strukturelemente stand immer ihre Umsetzung zur Unterstützung der explorativen Wegfindung für Fussgänger im Vordergrund. Die Ansätze zur Umsetzung orientieren sich allgemein an bestehenden kartografischen Darstellungsmethoden. Wo vergleichbare Ansätze fehlen, wurden eigene Ideen entwickelt.

4.1.1 Strassen und Wege

Strassen und Wege bilden die vorherrschenden Elemente im Bild einer Stadt. Strassen können durch verschiedene Eigenschaften eine besondere Charakteristik erhalten (siehe Kapitel 2.1.1).

Umsetzungsideen

In herkömmlichen Karten können Strasseneigenschaften nur zum Teil aus dem Kartenbild abgelesen werden. Abgelesen werden kann zum Beispiel die Eigenschaft Enge-Breite oder die Kontinuität einer Strasse. Je nach Karte kann noch ein Benutzungszweck erahnt werden oder ob die Strasse ein Gefälle aufweist.

In der geplanten Applikation sollen Strasseneigenschaften in Form von Symbolen dargestellt und so dem Kartenbenutzer zugänglich gemacht werden. Symbolisiert werden sollen nur Eigenschaften, die nicht bereits aus dem Zusammenhang der Karte ersichtlich sind. Zusätzlich zu den Strasseneigenschaften soll der Name der Strasse, in der sich der Benutzer gerade befindet, angezeigt werden.

4.1.2 Grenzen und Ränder

Grenzen sind lineare Elemente, die in der Regel nicht als Wege dienen. Sie sind unzugänglich für Querverbindungen. Grenzen können aber auch im Sinne einer Naht verschiedene Gebiete zusammenfügen (siehe Kapitel 2.1.2).

Umsetzungsideen

Grenzen und Ränder sind in Karten oft enthalten. Sie treten unter anderem in Form von Flüssen, Uferlinien, Siedlungsrändern, Eisenbahnlinien oder breiten Strassen auf. Meist muss deshalb nicht speziell auf Grenzen hingewiesen werden. Da Grenzen eine trennende Qualität aufweisen, sollen die vorhandenen Querverbindungen hervorgehoben werden. Für den Kartenbenutzer soll dadurch deutlich erkennbar sein, wo es für ihn Möglichkeiten gibt, Grenzlinien zu überwinden. Wo Flüsse als Grenzlinien auftreten, können Brücken betont werden, bei breiten Strassen können Fussgängerstreifen oder Fussgängerunterführungen hervorgehoben werden.

4.1.3 Bereiche

Bereiche sind relativ grosse Stadtbezirke, die über einen einheitlichen Charakter verfügen. Sie gliedern das Stadtbild in Gebiete mit individuellem Charakter. Bereiche lassen sich allerdings oft nicht klar abgrenzen und gehen manchmal fliessend ineinander über oder überlappen sich. Meistens lassen sich nur die Kernzonen relativ klar zuweisen, an den Rändern eines Bereiches sind die Abgrenzungen hingegen meist unscharf (siehe Kapitel 2.1.3).

Umsetzungsideen

Da Bereiche das mentale Bild einer Stadt grob strukturieren, kann mit ihnen die Übersichtskarte gegliedert werden. Die verschiedenen Stadtbereiche können durch unterschiedliche Farbgebungen unterschieden werden. In der Übersicht kann sich der Kartenbenutzer dadurch schnell ein Bild über seine ungefähre Position im Bezug auf das städtische Gefüge machen. Ein Problem besteht allerdings in der Tatsache, dass bei der Einfärbung von verschiedenen Bereichen unscharfe Objekte in randscharfe Objekte umgewandelt werden müssen. Das Stadtgebiet kann daher nicht in allzu viele Bereiche unterteilt werden. Vielmehr soll versucht werden, ein paar wichtige Hauptbereiche zu eruieren und diese farblich zu unterscheiden. Wichtig ist auch, dass die Stadtbereiche nur in kleinen Massstäben mit generalisiertem Karteninhalt dargestellt werden. Da in diesen Massstabsbereichen einzelne Gebäude oder Gebäudezeilen nicht erkannt werden können, behalten die eingefärbten Bereiche eine gewisse Unschärfe.

4.1.4 Brennpunkte

Brennpunkte sind besonders wichtig für die Navigation in der Stadt, denn bei ihnen müssen Entscheidungen getroffen werden (siehe Kapitel 2.1.4).

Umsetzungsideen

Die Brennpunkte sollen speziell symbolisiert und dadurch in der Karte deutlich erkennbar sein. Durch die Symbolisierung der Brennpunkte wird die Struktur der Verkehrswege besser lesbar. Es soll sofort ersichtlich werden, wo sich die wichtigsten Knotenpunkte in der Stadt befinden. Nähert sich der Kartenbenutzer einem Brennpunkt, weiss er schon im Voraus was ihn erwartet. Er weiss, dass er bald auf einen Platz mit relativ komplexer Struktur stossen wird und dass er zur weiteren Fortbewegung Entscheidungen zu treffen hat. Als zusätzliche Hilfe sollen über die Brennpunktsymbole detaillierte Situationskarten abgerufen werden können, die den Benutzer darüber informieren, wie die genaue Struktur des Brennpunktes aussieht, wie der Platz einfach überquert werden kann und wo es Haltestellen des öffentlichen Verkehrs gibt.

Lynch stellt fest, dass Brennpunkte abhängig vom Massstab des Bezugsraumes oder der Perspektive sind. Dies soll bei der Darstellung der Brennpunkte in den verschiedenen Kartenmassstäben berücksichtigt werden. In einem grossen Massstab soll pro Verkehrsknoten ein Brennpunktsymbol platziert werden. Zoomt man aus der Karte hinaus, sollen nahe liegende Brennpunkte zu einem einzigen Brennpunkt zusammengefasst werden. Beispielsweise können

die Brennpunkte „Bahnhofquai“ und „Bahnhofplatz“ beim Hinauszoomen zum Brennpunkt „Hauptbahnhof“ zusammengefasst werden.

4.1.5 Merkzeichen

Merkzeichen sind optische Bezugspunkte, die sich ausserhalb des Betrachters befinden. Meist handelt es sich dabei um einfache Objekte wie Gebäude, Schilder, Warenhäuser oder Anhöhen (siehe Kapitel 2.1.5).

Umsetzungsideen

Merkzeichen werden in der Karte besonders hervorgehoben und symbolisiert. Die Symbole sollen dabei möglichst selbsterklärend sein. Portable Geräte verfügen meist über sehr kleine Displays, der Platz für den Kartenausschnitt ist deshalb beschränkt. So kann es leicht vorkommen, dass sich ein oder mehrere wichtige Merkzeichen ausserhalb des Kartenausschnittes befinden. Damit der Benutzer zu diesen Merkzeichen dennoch einen räumlichen Bezug herstellen kann, sollen am Kartenrand Symbole platziert werden, die auf die entfernten Merkzeichen hinweisen.

Nicht alle Merkzeichen sind von gleicher Bedeutung. Es gibt Merkzeichen mit globaler Ausstrahlung, andere sind nur in lokalem Kontext bedeutend. Wichtige Merkzeichen sind entweder von vielen Orten aus sichtbar oder sie werden durch einen einmaligen Charakter beziehungsweise eine besondere Funktion hervorgehoben. Merkzeichen, die nur von wenigen Orten aus sichtbar sind und keine besondere charakteristische Eigenschaft haben, sind nur von lokaler Bedeutung. Bedeutende Merkzeichen sollen bereits in kleinen Massstäben ersichtlich sein, lokale Merkzeichen werden erst beim Hineinzoomen in die Karte sichtbar. Zur besseren Groborientierung soll auf die wichtigsten Merkzeichen immer hingewiesen werden. Diese Merkzeichen sollen als Bezugspunkte im Sinne eines Referenzrahmens [Mon05], [Kru05], [Tve03] die Orientierung erleichtern. Auf weniger bedeutende Merkzeichen soll nur dann hingewiesen werden, wenn sie sich tatsächlich im Sichtfeld des Benutzers befinden.

Selbst wenn die Merkzeichen durch sehr gute und intuitiv verständliche Symbole repräsentiert werden, fällt der eindeutige Rückschluss vom Kartensymbol auf das reale Objekt nicht immer leicht. Über die Merkzeichensymbole soll deshalb ein Bild des realen Objektes abgerufen werden können. Einen ähnlichen Ansatz mit Merkzeichenfotos lässt sich bei Lee finden [Lee01]. Die Bilder werden dabei aber direkt in der Karte dargestellt und können nicht interaktiv über einen Link aufgerufen werden.

4.2 Kartografische Umsetzung

Die kartografische Visualisierung der operationalisierten Strukturelemente baut auf den grafischen Variablen von Bertin [Ber74] auf. Die Grundlagen dazu werden im Kapitel 2.3 beschrieben. Neben diesen Grundlagen hat vor allem das kleine Display des Geräts einen wesentlichen Einfluss auf die visuelle Gestaltung der Karte.

4.2.1 Kleines Display: Kartografische Einschränkungen

Für die Kartendarstellung steht auf dem verwendeten PDA eine Fläche von 240 x 248 Pixel zur Verfügung (57.6 x 59.52 mm). Die Grösse eines Pixels beträgt 0.24 x 0.24 Millimeter. Das Auflösungsvermögen des menschlichen Auges liegt, bei einem Abstand von 30 cm zum betrachteten Objekt, bei 0.02 mm [Nis03].

Die kleine Displaygrösse und die geringe Bildauflösung muss bei der kartografischen Visualisierung berücksichtigt werden. Ebenfalls zu berücksichtigen ist der Umstand, dass die Karte im Freien verwendet wird und dass daher die Lichtverhältnisse zum Ablesen des Displays ungünstig sein können.

Aufgrund der genannten Einschränkungen sollen folgende Gestaltungsregeln berücksichtigt werden:

- Kartenstruktur klar und gut lesbar gestalten
- Serifenlose und genügend grosse Schriften verwenden
- Mindestgrössen und Mindestabstände beachten
- Klare und gut unterscheidbare Farben verwenden
- Informationsdichte darf nicht zu hoch sein
- Platz sparen mit Interaktionsmöglichkeiten

4.2.2 Darstellung der Strukturelemente

Strassen

Die Visualisierung der Strassen in der Grundkarte orientiert sich an herkömmlichen kartografischen Darstellungen. Die Strassen sind in drei Klassen aufgeteilt: Hauptstrassen (Strassen 1. und 2. Klasse), Quartier- und Nebenstrassen (Strassen 3. - 5. Klasse und Quartierstrassen), Fusswege (Fuss- und Parkwege). Die Strassenklassen werden durch die Strichbreite unterschieden. Die Fusswege unterscheiden sich zusätzlich durch eine andere Strichfarbe von den übrigen Klassen.

Die Strasseneigenschaften werden durch Symbole dargestellt und sollen einfach zu verstehen sein. Durch die hohe Ikonizität der Symbole sollen die dargestellten Strasseneigenschaften assoziativ erschlossen werden können.

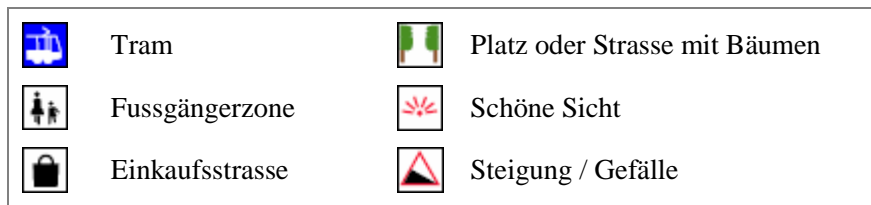


Abb. 3: Symbole zu den Strasseneigenschaften

Grenzen oder Ränder

Die meisten Elemente, die als Grenzen oder Ränder interpretiert werden können, sind in der Grundkarte bereits vorhanden. Die Brücken als verbindende Elemente über die Limmat sind bereits genügend klar erkennbar. In den Situationskarten, die für die Brennpunkte erstellt werden, weisen Fussgängerstreifen und Unterführungen auf Verbindungen quer zu stark befahrenen Strassen hin.

Brennpunkte

Brennpunkte werden mit einem Info-Symbol dargestellt. Das Info-Symbol soll den Kartenbenutzer darauf hinweisen, dass er durch das Antippen dieses Symbols zusätzliche Information zum Brennpunkt erhält. Zu jedem Brennpunkt in der Karte ist eine detaillierte Situationskarte hinterlegt. Diese genaue Karte ist mit den Daten der Amtlichen Vermessung aufbereitet worden. Sie enthält insbesondere die genauen Strassenverläufe, die Tramschienen, Trottoirs und Verkehrsinseln. Zudem sind verschiedene für den Fussgänger interessante Objekte dargestellt. Fussgängerstreifen und Unterführungen zeigen auf, wo Strassen leicht über- oder unterquert werden können. Symbole mit den Tram- oder Busliniennummern zeigen die Haltestellen des Öffentlichen Verkehrs an. Damit sich der Benutzer orientieren kann, sind die wichtigsten Bezugspunkte beschriftet oder es wird mit Pfeilen darauf verwiesen. Die Situationskarten sind der Einfachheit halber als Bilder abgespeichert. Daraus ergibt sich jedoch der Nachteil, dass das GPS-Symbol in dieser Detailkarte nicht angezeigt werden kann.

Brennpunkte sind abhängig vom Massstab der Perspektive. So werden beispielsweise die Brennpunkte „Bahnhofquai“ und „Bahnhofplatz“ beim Herauszoomen zum Brennpunkt „Hauptbahnhof“ aggregiert. Die Brennpunkte in den verschiedenen Massstäben können anhand einer Aggregations-Hierarchie im Sinne von Timpf [Tim99] geordnet werden.

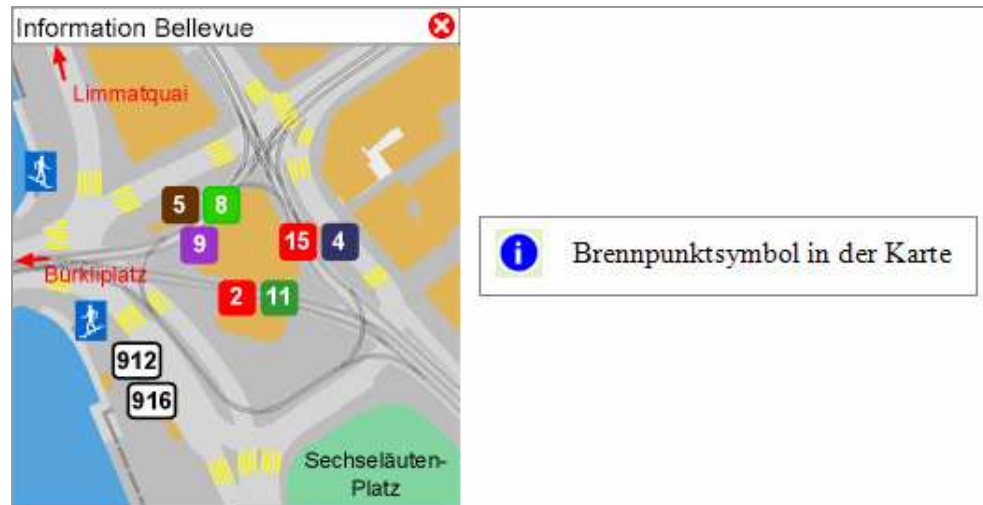


Abb. 4: Situationskarte zum Brennpunkt Bellevue und Brennpunktsymbol

Merkzeichen

Es gibt zwei Arten von Merkzeichensymbolen. Einerseits gibt es Symbole zur Kennzeichnung von Merkzeichen die sich an Ort befinden (lokale Merkzeichen), andererseits gibt es Symbole, die auf ein ausserhalb der Karte liegendes Merkzeichen verweisen (entfernte Merkzeichen). Lokale Merkzeichen werden mit einem quadratischen Rahmen umgrenzt, Symbole zu entfernten Merkzeichen werden mit runden Begrenzungen dargestellt. Zusätzlich zur Variation der Form werden die Verweise auf entfernte Merkzeichen mit einem Pfeil ergänzt, der die Richtung zum entfernten Merkzeichen angibt.

Zur Darstellung von Merkzeichen mit allgemein bekannter Funktion werden Symbole entworfen, die eine Assoziation zu dieser Funktion herstellen: Ein Bahnhof wird mit einer Lokomotive symbolisiert, eine Kirche mit einem Kreuzsymbol. Daneben gibt es aber zahlreiche Merkzeichen, denen keine allgemein bekannte Funktion zugeordnet werden kann. Diese Merkzeichen werden durch Symbole mit hoher Ikonizität dargestellt, damit eine Assoziation zum äusseren Erscheinungsbild dieser Merkzeichen erzeugt wird.

Die Merkzeichen „Hauptbahnhof“, „See“ und „Üetliberg“ sind als wichtigste globale Merkzeichen identifiziert worden. Die Verweise auf diese Bezugspunkte werden immer dargestellt. Sie sind die wichtigsten Bezugspunkte des Referenzrahmens für die Zürcher Innenstadt. Damit sie von den anderen Verweisen unterschieden werden können, ist ihr Rand violett eingefärbt und nicht rot.

Die lokalen Merkzeichen sind nach ihrer Bedeutung klassiert und lassen sich nach einer Filter-Hierarchie [Tim99] einordnen. In grossen Massstäben werden alle Merkzeichen angezeigt. Mit zunehmendem Generalisierungsgrad bei kleinen Massstäben werden die unwichtigen

Merkzeichen weggelassen (siehe Abb. 6: Vergleich zwischen Level 2 und Level 3). In denjenigen Massstäben, bei denen die Gebäude sichtbar sind, werden die Gebäude welche gleichzeitig Merkzeichen sind, rot eingefärbt (siehe Abb. 6: Level 4).

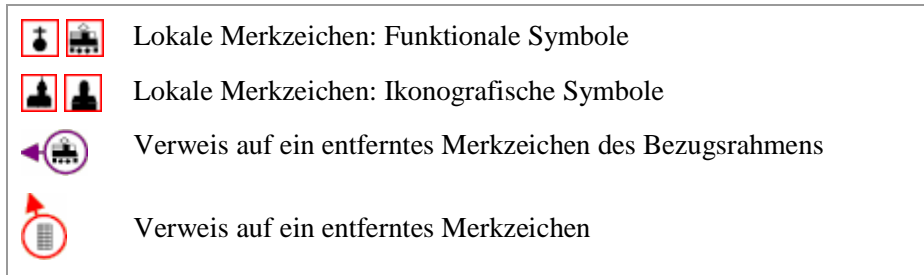


Abb. 5: Merkmalsymbole

Bereiche

Es werden drei Bereiche unterschieden: Altstadt, Stadtkern und übriges Siedlungsgebiet. Da alle Bereiche zum Typ Siedlungsgebiet gehören, sind sie in verschiedenen Brauntönen eingefärbt. Als Unterscheidungsmerkmal dient die Helligkeit. Aufgrund der im Kapitel 4.1.3 beschriebenen Unschärfe-Eigenschaft von Bereichen werden sie nur in Massstäben dargestellt, in denen keine Einzelgebäude sichtbar sind (siehe Abb. 23).

Basiskarte

Die Basiskarte wird in Anlehnung an ähnliche Kartenpräsentationen gestaltet. Gebäude bzw. Siedlungsgebiet sind orange-braun eingefärbt, Strassen sind grau, Eisenbahnlinien rot; Gewässer sind blau eingefärbt, Wald ist dunkelgrün und Parkanlagen hellgrün. Für die Beschriftung werden serifenlose Schrifttypen gewählt.

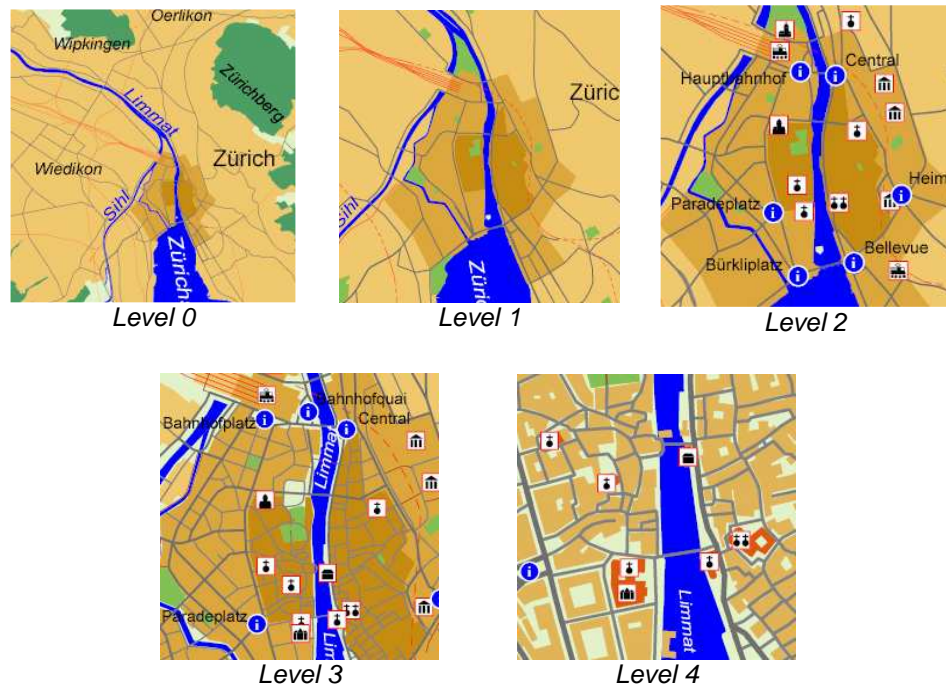


Abb. 6: Darstellung der Karten in den verschiedenen Zoom-Stufen.

4.1 Testgebiet und Erfassung der Strukturelemente

4.1.1 Testgebiet

Das Testgebiet muss verschiedene Kriterien erfüllen. Es muss so gewählt werden, dass die verschiedenen Strukturelemente von Lynch in ausreichendem Mass vorhanden sind. Zudem muss es genügend gross sein, um mehrere Brennpunkte und verschiedene Stadtbereiche zu enthalten. Das Testgebiet soll aber auch nicht unnötig gross sein, da ein grosses Gebiet einen hohen Aufwand für die Datenprozessierung mit sich bringt und die Applikation durch grosse Datenmengen verlangsamt wird.

Ein ideales Testgebiet stellt die Zürcher Innenstadt dar. Sie ist durch den Zürichsee und die Flussläufe von Sihl und Limmat gut gegliedert. Mit den Altstadtvierteln links und rechts der Limmat, dem Bahnhofsviertel sowie dem Einkaufs- und Geschäftsviertel entlang der Bahnhofstrasse sind verschiedene, leicht unterscheidbare Stadtbereiche vorhanden. Im Testgebiet liegen zudem zentrale Knotenpunkte der Stadt wie zum Beispiel der Hauptbahnhof oder das Central. Die verschiedenen Kirchtürme der Altstadt sind - im wahrsten Sinne des Wortes - hervorragende Merkzeichen. Mit der Sternwarte Urania und den grossen Gebäuden des Universitätsquartiers liegen weitere Merkzeichen innerhalb oder in unmittelbarer Nähe des Test-

gebietes. Im Untersuchungsgebiet lassen sich zudem alle möglichen Arten von Strassen finden; von den engen und ruhigen Altstadtgassen über die von Fussgängern und Trams belebte Bahnhofstrasse bis hin zu den stark befahrenen Verkehrsachsen beim Bahnhof oder Bellevue.

4.1.2 Erfassung der Strukturelemente

In der Arbeit von Lynch werden die Strukturelemente auf zwei Arten erhoben. In der einen Methode werden kleine Bevölkerungsgruppen nach ihrem Vorstellungsbild zu der von ihnen bewohnten Stadt befragt. Aus den Resultaten werden die am häufigsten vorkommenden Elemente extrahiert und den Strukturelementtypen zugeordnet.

In der anderen Methode erfassen geschulte Beobachter die Strukturelemente direkt durch Ortsbegehungen [Lyn60]. Für die Erhebung der Strukturelemente im Testgebiet habe ich mich als geschulter Beobachter betrachtet und die Elemente durch eigene Ortsbegehungen erhoben. Die Strukturelemente habe ich dabei nach den von Lynch formulierten Kriterien erfasst. Viele Strukturelemente (z.B. Strassen oder Grenzen) sind aber bereits in bestehenden Geodaten enthalten und mussten nicht erfasst werden.



Abb. 7: Das Testgebiet: Die Innenstadt von Zürich [WWW2]

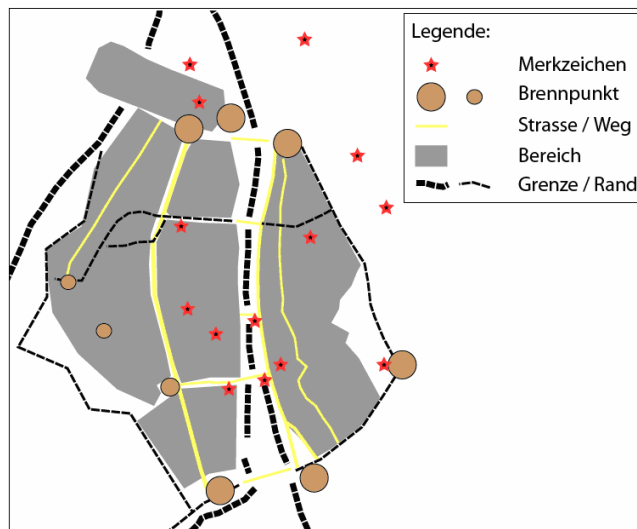


Abb. 8: Die wichtigsten Strukturelemente im Testgebiet. (Darstellung nach Lynch [Lyn60])

Strassen und Wege

Die Strassen und Wege werden aus bestehenden Geodaten übernommen (siehe Kapitel 4.3). Die zugehörigen Eigenschaften werden mittels Ortsbegehungen erfasst. Kevin Lynch be-

schreibt in seinem Buch verschiedene Eigenschaften, die eine Strasse haben kann. Sie lassen sich unterschiedlich gut operationalisieren:

- Verkehr: aufwändig zu erfassen, zeitabhängig, schlecht umsetzbar
- Enge-Breite: aus der Karte ablesbar, muss nicht zusätzlich hervorgehoben werden
- Kontinuität: aus der Karte ablesbar, muss nicht zusätzlich hervorgehoben werden
- Fassaden: schwierige Erfassung, schlecht umsetzbar
- Benutzungszwecke: einfache Erfassung, leicht umsetzbar
- Richtungseigenschaft: kompliziert umzusetzen; Alternative: Anzeigen von Referenzpunkten.
- Steigung: einfache Erfassung, leicht umsetzbar
- Sicht auf die Stadt: einfache Erfassung, leicht umsetzbar.

Auf Basis dieser Überlegungen zur Umsetzbarkeit und anhand der im Untersuchungsgebiet vorhandenen Strasseneigenschaften werden die folgenden sechs vorherrschenden Eigenschaften abgeleitet und erfasst: Tram, Bäume, Einkaufen, schöne Sicht, Steigung und Fussgängerzone.



Abb. 9: Eigenschaften der Bahnhofstrasse: Fussgängerzone, Einkaufen, Tram, Bäume



Abb. 10: Eigenschaften der Kirchgasse: Fussgängerzone, Steigung/Gefälle

Grenzen und Ränder

Grenzen und Ränder sind in den Daten meistens schon enthalten. Beispiele dafür sind die Limmat, der Zürichsee oder die breiten Hauptverkehrsstrassen. Das Augenmerk liegt aber

nicht auf den Grenzen, sondern auf den Querverbindungen dazu. Die Brücken über die Flussläufe sind in den Daten bereits enthalten, daher müssen nur die Fussgängerstreifen und Unterführungen an den Brennpunkten zusätzlich erhoben werden.



Abb. 11: Die Grenze „Limmat“

Brennpunkte

Die Brennpunkte werden aufgrund von Beobachtungen vor Ort erfasst. Nach Lynch sind Brennpunkte strategische Knotenpunkte, intensiv genutzte Zentralpunkte sowie Knotenpunkte des öffentlichen Verkehrs.



Abb. 12: Der Brennpunkt "Central"



Abb. 13: Der Brennpunkt "Bellevue"

Merkzeichen

Die meisten Merkzeichen werden aus einer Touristenkarte übernommen, die beim Tourismusbüro der Stadt Zürich erhältlich ist. Die in dieser Karte vorhandenen Merkzeichen werden aber nur verwendet, wenn sie mit den von Lynch formulierten Kriterien übereinstimmen.



Abb. 14: Das Merkzeichen
"Sternwarte Urania"



Abb. 15: Das Merkzeichen
"Grossmünster"

4.4 Daten und Datenaufbereitung

4.4.1 Daten

Für die Prototypentwicklung konnten über das Geographische Institut der Universität Zürich folgende Datensätze bezogen werden:

- Vector25 des Bundesamtes für Landestopografie (swisstopo): Blatt „Zürich“
- Daten der Amtlichen Vermessung der Stadt Zürich (GeoZ): Ausschnitt Zürcher Innenstadt

Der Datensatz Vector25 enthält die Schweizerische Landeskarte im Vektorformat. Die Karte ist für den Massstab 1:25'000 aufbereitet. Vector25 beinhaltet die folgenden neun thematischen Ebenen: Strassennetz, Eisenbahnnetz, übriger Verkehr, Gewässernetz, Primärflächen, Gebäude, Hecken und Bäume, Anlagen und Einzelobjekte.

Die Daten der Amtlichen Vermessung umfassen sämtliche Daten, die von Amtes wegen von Interesse sind. Der Datensatz beinhaltet die folgenden Ebenen: Fixpunkte, Bodenbedeckung, Einzelobjekte, Höhen, Nomenklatur, Liegenschaften, Rohrleitungen, Hoheitsgrenzen, projizierte Objekte, Diverses. Die Daten aus der Amtlichen Vermessung sind sehr genau, deshalb ist die Datenmenge entsprechend gross. Beide Datensätze liegen im DXF-Format (*Drawing Exchange Format*) vor.

4.4.2 Datenaufbereitung

Die Daten werden mit dem kommerziellen Desktop-GIS Geomedia Professional der Firma Intergraph aufbereitet. Um mit den Daten arbeiten zu können, müssen sie aus den DXF-Dateien ins GIS importiert werden. Für die weitere Verarbeitung werden die Daten im proprietären Intergraph-Format *SmartStore* gespeichert.

Bei der Datenaufbereitung muss zuerst bestimmt werden, welche Daten verwendet werden können. Die Daten für die Kartendarstellung stammen ausschliesslich aus dem Vector25-Datensatz. Die Daten der Amtlichen Vermessung sind für eine Kartenanwendung auf einem PDA mit kleinem Display zu detailliert. Sie dienen jedoch als Grundlage für selber digitalisierte Datenebenen oder als Kontrollreferenz für andere Datensätze.

Die meisten Datensätze werden mittels *Clipping* auf den Perimeter der Innenstadt zugeschnitten, ausgenommen sind die Datensätze für die Übersichtskarte.

Die weiteren Schritte der Datenaufbereitung sind eng verbunden mit der Prototypentwicklung. Die Daten müssen in das SVG-Format konvertiert werden, damit sie später in der PDA-Applikation mit einem SVG-Viewer visualisiert werden können. Geomedia Professional kann Geodaten jedoch nicht direkt im SVG-Format ausgeben. Die Daten werden daher zunächst in das de-facto Standardformat *Shape* exportiert und danach mit dem Freeware-Tool *shape2svg* in SVG-Code umgewandelt.¹

Für die Darstellung der Karte auf dem PDA werden verschiedene Massstäbe erzeugt. Im kleinsten Massstab wird eine Übersichtskarte dargestellt, welche die ganze Stadt Zürich zeigt. Beim Verkleinern des Ausschnittes (Vergrössern des Massstabes) werden Schritt für Schritt detailliertere Datensätze angezeigt. Durch Versuche konnte herausgefunden werden, dass für die Kartenapplikation auf dem PDA fünf Massstabsebenen aufbereitet werden müssen, damit die Kartendarstellung über den gesamten Massstabsbereich genügend gut ist. Zusätzlich zu den Vector25-Daten werden Datensätze selber digitalisiert: Zum Beispiel ein fein gegliedertes Siedlungsgebiet für die mittleren Massstabsbereiche oder die städtischen Parkanlagen, welche von den Daten der Amtlichen Vermessung übernommen und stark generalisiert wurden (siehe Tab. 2).

¹ Das Programm *shape2svg* kann kostenlos über die Webseite von *carto.net* (<http://www.carto.net/papers/svg/utis/shp2svg/>) herunter geladen werden. Über einen Command-Prompt kann das Werkzeug gestartet und bedient werden, die Konvertierung wird über einen Dialog gesteuert. Dabei kann angegeben werden, welche Attribute aus den Daten übernommen werden sollen oder nach welchen Kriterien die Daten gruppiert werden sollen.

Level 0 Zoom 100%	Level 1 Zoom 180% - 230%	Level 2 Zoom 230% - 500%	Level 3 Zoom 500% - 950%	Level 4 Zoom 950%- 2000%
Gewässer Vec25 (bearbeitet)	Gewässer Vec25 (bearbeitet)	Gewässer Vec25 (bearbeitet)	Gewässer Vec25 (bearbeitet)	Gewässer Vec25 (bearbeitet)
Wald Vec25	Wald Vec25	Wald Vec25	Wald Vec25	Wald Vec25
Eisenbahn Vec25	Eisenbahn Vec25	Eisenbahn Vec25	Eisenbahn Vec25	Eisenbahn Vec25
Beschriftung1 (selber erstellt)	Beschriftung1 (selber erstellt)	Beschriftung2 (selber erstellt)	Beschriftung2 (selber erstellt)	Beschriftung3 (selber erstellt)
Siedlungsgebiet Vec25	Siedlungsgebiet Vec25	Siedlungsgebiet fein (Digitalisiert)	Siedlungsgebiet fein (Digitalisiert)	Gebäude Vec25 (bearbeitet)
Bereiche (Digitalisiert)	Bereiche (Digitalisiert)	Bereiche (Digitalisiert)	Bereiche (Digitalisiert)	-
Hauptstrassen (Digitalisiert)	Hauptstrassen (Digitalisiert)	Hauptstrassen Vec25 1. u. 2. Klas- se (bearbeitet)	Hauptstrassen Vec25 1. u. 2. Klasse (bearbeitet)	Hauptstrassen Vec25 1. u. 2. Klasse (bearbeitet)
Autobahnen (Digitalisiert)	Autobahnen (Digitalisiert)	Autobahnen Vec25	Autobahnen Vec25	Autobahnen Vec25
-	Parkanlagen (Digitalisiert)	Parkanlagen (Digitalisiert)	Parkanlagen (Digitalisiert)	Parkanlagen (Digitalisiert)
-	-	Ein- und Ausfahrten Vec25	Ein- und Ausfahr- ten Vec25	Ein- und Ausfahrten Vec25
-	-	Nebenstrassen Vec25 3., 4. u. 5. Klasse	Nebenstrassen Vec25 3., 4. u. 5. Klasse	Nebenstrassen Vec25 3., 4. u. 5. Klasse
-	-	Quartierstrassen Vec25 (bearbeitet)	Quartierstrassen Vec25 (bearbeitet)	Quartierstrassen Vec25 (bearbeitet)
-	-	-	Fuss- und Park- wege Vec25	Fuss- und Parkwege Vec25

Tab. 2: Datensätze für die verschiedenen Zoom-Ebenen

Die Vector25-Daten sind für die Kartendarstellung im Massstab 1:25'000 aufbereitet und entsprechend generalisiert. Dies hat verschiedene Einflüsse auf die Genauigkeit der Daten. Strassen zum Beispiel werden verbreitert oder verschoben, damit sie in der Darstellung der Landeskarte gut gelesen werden können. Dadurch werden auch angrenzende Gebäude verschoben. Die Verschiebungsbeträge können bis zu zehn Meter ausmachen. Diese für die Darstellung der Landeskarte sinnvollen Veränderungen können in einer GPS-Applikation zu Problemen führen. Bei guten Bedingungen liegt die Genauigkeit des GPS-Signals im Meter-Bereich und damit deutlich unter den oben erwähnten Verschiebungsbeträgen. Auf grafischer Seite kann dies dazu führen, dass das Symbol des GPS-Signals auf einem Gebäude zu liegen kommt, obwohl es sich auf einer Strasse befinden sollte. Auf technischer Seite entstehen Probleme beim Snappen auf Strassen (siehe Kapitel 4.4.6). Der Toleranzbereich der Snap-Funktion liegt bei zwölf Metern. Wenn eine Strasse um viele Meter verschoben ist, kann dies dazu führen, dass zur aktuellen Position des GPS-Signals keine Strasse innerhalb des Toleranzbereiches gefunden wird, obwohl man sich auf einer Strasse befindet. Diese Probleme haben zur Entscheidung geführt, die Gebäudeebene sowie die verschiedenen Strassenebenen zu überarbeiten. Verschobene Gebäude und Strassenabschnitte sind mittels der Daten der Amtli-

chen Vermessung, die als Korrekturreferenz dienten, zurück verschoben worden. Auch die Gewässerebene ist bearbeitet worden. In der generalisierten Version für die Landeskarte sind verschiedene markante Elemente, wie beispielsweise die kleine Insel des Bauschänzli, weggelassen worden. Anschliessend sind diese Elemente mit Hilfe der Daten aus der Amtlichen Vermessung wieder hinzugefügt worden.

Kachelung der Daten

Die fünf beschriebenen Massstabsebenen enthalten Daten von unterschiedlichem Detailreichtum. Die Massstabsebene der Übersichtskarte enthält wenig Details - die Datenmenge ist

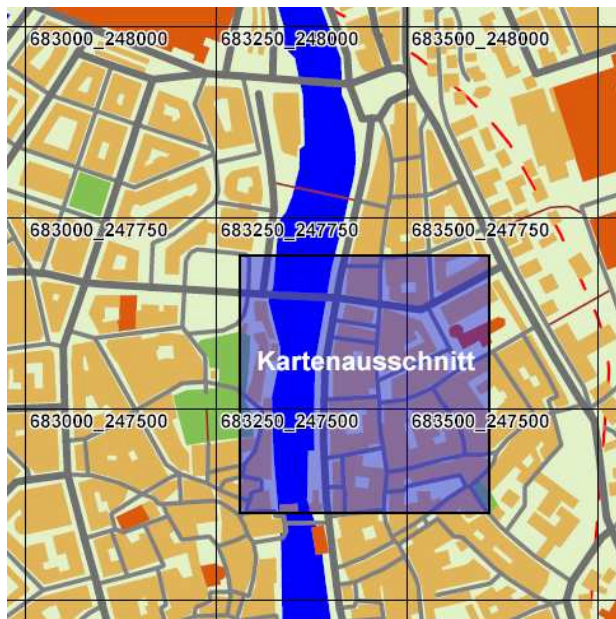


Abb. 16: Dank der Datenkachelung müssen nur diejenigen Kacheln geladen werden, die sich mit dem Kartenausschnitt schneiden.

klein. Eine Massstabsebene mit grossem Massstab enthält viele Details - die Datenmenge ist gross. Mit zunehmendem Detailreichtum bei der Vergrösserung der Karte nimmt folglich die Datenmenge zu. Einhergehend mit der Zunahme der Datenmenge verlangsamt sich daher der Bildaufbau auf dem Display. Auf einem mobilen Gerät mit beschränkten Rechner- und Arbeitsspeicherkapazitäten führt dies schnell zu unannehmbar langen Ladezeiten. Die Kartenapplikation kann dadurch unbrauchbar werden.

Eine Möglichkeit dieses Problem zu beheben besteht darin, die Daten der einzelnen Massstabsebenen in kleine quadratische Kacheln zu unterteilen. Für jeden Kartenausschnitt kann dann berechnet werden, welche Kacheln angezeigt werden müssen. In der Folge muss der Rechner für den Bildaufbau nur die Daten derjenigen Kacheln berücksichtigen, die tatsächlich für die Darstellung eines Kartenausschnittes gebraucht werden. Die Ladezeiten für den Bildaufbau können auf diese Weise massiv verkürzt werden.

Die folgende Zusammenstellung beschreibt die benötigten Schritte zur Herstellung von SVG-Kacheln:

1. Mit den Konstruktionswerkzeugen von Geomedia Professional wird ein regelmässiges Vektorraster in der gewünschten Kachelgrösse erstellt.

2. Anschliessend werden jeder Rasterzelle die Koordinaten der linken oberen Ecke als Attribut mit Namen „ID_XY“ zugeordnet (Bsp.: 680000_247000).

3. Der gewünschte Datensatz wird nun mit den aufbereiteten Rasterzellen verschnitten. Mit einer Verschneidungsfunktion werden die Attribute der beiden Objektklassen aggregiert. Damit erhält jedes Objekt, welches sich mit einer bestimmten Zelle des Vektorrasters schneidet, das Attribut „ID_XY“ mit den Koordinaten der linken oberen Ecke dieser Rasterzelle zugeordnet.

4. Das Resultat wird in ein Shape-File exportiert.

5. Das Shape-File wird mit *shape2svg* ins SVG-Format konvertiert. Über den *Command-Prompt* kann angegeben werden, dass die Daten nach dem Attribut „ID_XY“ sortiert und gruppiert werden sollen. Im resultierenden SVG-File sind nun alle Objekte, die mit einer Kachel eine Schnittmenge gebildet haben, in einem Gruppenelement zusammengefasst.

6. Mit einem Text-Editor (z.B. TextPad) kann der SVG-Code nachträglich bereinigt werden. Das Attribut „ID_XY“ wird nicht mehr bei jedem einzelnen Objekt, sondern nur noch als Identifikator der ganzen Gruppe verwendet. Dies kann mit wenigen *Find-and-Replace*-Operationen bewerkstelligt werden.

Je nach Datenmenge und Grösse des Kartenausschnittes werden die Dimensionen der Kacheln so angepasst, dass die Bildaufbereitung effizient ist, aber nicht unnötig viele Kacheln hergestellt werden müssen. Für die Massstabsebenen „0“ und „1“ der Übersichtskarten werden keine Kacheln aufbereitet. Die Kachelgrösse beträgt für die Ebene „2“ einen Kilometer, für die Ebene „3“ 500 Meter und für die Ebene „4“ 250 Meter.

4.5 Technische Umsetzung

Der Prototyp muss vielen Anforderungen genügen. In erster Linie dient er als Basis für die Darstellung der operationalisierten Strukturelemente. Die untenstehende Liste enthält die wichtigsten Anforderungen, die an das System gestellt werden.

Das Prototypsystem muss ...

- portabel sein und von Fussgängern mitgeführt werden können.
- die geografische Position feststellen können.
- die semantische Position feststellen können.
- eine Karte massstabsabhängig darstellen können (Adaptives Zoomen).
- Multimedia fähig sein (Anzeige von Bildern).

- Möglichkeiten zur Interaktion bieten.
- dem Benutzer die Möglichkeit bieten, die Karte wie gewünscht zu orientieren.²
- die Karte mit der Laufbewegung automatisch nachführen.

Bei diesem Anforderungskatalog an die Prototypapplikation wird schnell klar, dass eine Eigenentwicklung am besten geeignet ist, diesen Anforderungen zu entsprechen. Damit die Strukturelemente wie gewünscht umgesetzt werden können, ist voller Zugriff auf den Quellcode des Systems nötig - dies ist bei kommerziellen Systemen nicht der Fall.

4.5.1 Grundlagen

Der folgende Abschnitt enthält einen Überblick über die technischen Grundlagen, auf denen die Entwicklung des Prototyps aufbaut.

SVG (Scalable Vector Graphics), SVG Basic

SVG ist ein XML-basiertes 2D-Grafikformat und offizieller Standard des World Wide Web Consortium (W3C). Ein grosser Vorteil von SVG ist, dass der Code mit einem einfachen Texteditor generiert und bearbeitet werden kann. SVG Basic ist ein speziell für PDAs entwickeltes SVG-Profil. Dabei werden vor allem die limitierten Rechner- und Speicherkapazitäten von PDAs berücksichtigt. [WWW3]

JavaScript

JavaScript ist eine clientseitige Skriptsprache. Mit ihr kann auf das Document Object Model (DOM) von SVG zugegriffen werden. Daraus ergeben sich vielfältige Möglichkeiten zur Interaktion mit dem SVG-Dokument.

eMbedded Visual Basic 3.0

eMedded Visual Basic ist eine Entwicklungsumgebung von Microsoft zur Entwicklung von Applikationen für portable Geräte mit dem Betriebssystem Windows CE. eMbedded Visual Basic baut auf der Syntax der Programmiersprache VBScript auf. Von der Entwicklungsumgebung wird vorkompilierter Code erzeugt, der auf dem Endgerät von einer Laufzeitumgebung interpretiert wird. eMbedded Visual Basic 3.0 kann kostenlos von der Microsoft-Homepage herunter geladen werden. [Pha04]

² Montello [Mon05] zitiert Studien, die gezeigt haben, dass die meisten Kartenbenutzer eine in Blickrichtung ausgerichtete Karte am einfachsten interpretieren können. Einige Benutzer bevorzugen jedoch eine genordnete Karte. Als Konsequenz daraus muss dem Kartenbenutzer die Möglichkeit geboten werden, die Ausrichtung der Karte selber bestimmen zu können.

eSVG - Embedded SVG

eSVG ist ein SVG-Viewer für portable Geräte. eSVG unterstützt das SVG Basic - Profil und liefert eine eigene Scripting Engine zur Interpretation von JavaScript, basierend auf dem ECMAScript Standard. Das ActiveX - Interface wird für Windows basierte Plattformen unterstützt und ermöglicht einen Datenaustausch zwischen der eSVG Engine und der Shell-Applikation. [WWW4]

NMEA-0183

Die NMEA (National Marine Electronics Association) bestimmt Normen für die Marine- und Elektronikindustrie. Es handelt sich dabei um eine Vereinigung von Herstellern, Vertreibern und Ausbildungsinstitutionen. Das Protokoll NMEA-0183 definiert den Datenaustausch zwischen Geräten aus der Marineelektronik. Dieses Austauschformat wird von fast allen GPS-Empfängern verwendet. [WWW5]

GPS (Global Positioning System)

Die eigentliche Bezeichnung heisst NAVSTAR-GPS (Navigational Satellite Timing and Ranging - Global Positioning System). Es basiert auf Satelliten, die ständig Signale aussenden. Aus der Signallaufzeit zu den unterschiedlich weit entfernten Satelliten können GPS-Empfänger die genaue Position bestimmen. Die ausgegebenen Koordinaten beziehen sich auf das Referenzsystem WGS84 (World Geodetic System 1984). Zur Bestimmung einer genauen Position wird der Empfang der Signale von mindestens vier Satelliten benötigt. [Bro96]

Bluetooth

Bluetooth ist ein Industriestandard zur drahtlosen Funkvernetzung von Geräten über kurze Distanz. Bluetooth bietet eine drahtlose Schnittstelle, über die verschiedene Geräte miteinander kommunizieren können. [Pha04]

4.5.2 Konzept und Grundlagen der Prototypentwicklung

Für die Entwicklung des Prototyps verwendete ich einen PDA und einen GPS-Empfänger, die mir vom Geographischen Institut der Universität Zürich zur Verfügung gestellt wurden. Beim PDA handelt es sich um das Model „iPaq 3970“ der Firma Compaq, auf dem das Betriebssystem Windows CE von Microsoft installiert ist. Der GPS-Empfänger stammt von der Firma EMTAC. Beide Geräte verfügen über eine Bluetooth - Schnittstelle, die einen drahtlosen Datenaustausch ermöglicht.

Beim geplanten Prototyp handelt es sich um eine kartografische Applikation. Die wichtigste Anforderung ist daher die Fähigkeit, Daten grafisch darstellen zu können. Eine neue und att-

raktive Möglichkeit dazu bietet das Grafikformat SVG. SVG bietet alle Vorteile von Vektorformaten gegenüber Rasterformaten. Zudem werden die Daten durch das unterstützte *Antialiasing* (Glättung von Treppeneffekten) besonders schön und klar dargestellt. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass mit verschiedenen Programmiersprachen auf das SVG-DOM (*Document Object Model*) zugegriffen werden kann. Auf diese Weise kann der Inhalt der SVG-Datei dynamisch verändert werden.

Das SVG-Format wird von keinem Betriebssystem nativ unterstützt. Damit SVG-Grafiken interpretiert und dargestellt werden können, muss ein so genannter SVG-Viewer installiert werden. Zurzeit sind für PDAs verschiedene SVG-Viewer erhältlich. Da es sich bei der Darstellung von SVG auf portablen Geräten noch um eine sehr junge Technologie handelt, haben noch nicht alle Anbieter die vom Implementierungsstandard geforderten Merkmale vollständig implementiert. Die angebotenen SVG-Viewer unterscheiden sich daher im Bezug auf die unterstützten SVG-Merkmale zum Teil erheblich voneinander. Unter den verschiedenen Anbietern wurde nach einem Vergleich der Spezifikationen der Viewer „eSVG - Embedded SVG“ von der Firma Intesis ausgewählt. eSVG unterstützt das SVG Basic Profil fast vollständig und liegt als ActiveX - Komponente für Windows CE vor. ActiveX-Komponenten können auf einfache Weise in Applikationen oder Internetbrowser eingebaut werden.

Microsoft bietet für die Entwicklung von Applikationen auf mobilen Geräten mit dem Windows CE Betriebssystem kostenlos verschiedene Entwicklungswerkzeuge an. Die Entwicklungsumgebungen unterstützen entweder die Programmiersprachen C/C++ oder Visual Basic. Für die Prototypentwicklung ist „eMbedded Visual Basic 3.0“ ausgewählt worden, da Visual Basic gegenüber C/C++ eine viel leichter zu lernende Sprache ist.

4.5.3 Systemarchitektur

Das Herzstück des Systems bildet die mit „eMedded Visual Basic“ entwickelte Applikation (siehe Abb. 12). Diese Applikation kontrolliert über eine serielle Schnittstelle die Bluetooth-Kommunikation mit dem GPS-Empfänger. Über ein Menu kann der Empfang zum GPS-Empfänger gesteuert werden. In der Applikation eingebettet ist die „eSVG ActiveX“ Komponente des SVG-Viewers. Über diese Komponente sind die SVG-Karte sowie die externen JavaScript-Dateien eingebunden. In der Shell-Applikation ist die grafische Benutzerschnittstelle definiert. Über diese Schnittstelle kann die Darstellung der Karte gesteuert werden (Zoom- und Pan-Funktionen). Die JavaScripts beinhalten den Code um auf das SVG-DOM zuzugreifen. JavaScript-Funktionen können via eSVG ActiveX Komponente direkt aus der Applikation angesprochen werden.

Mit JavaScript werden folgende Funktionen gesteuert (siehe Kapitel 4.4.4 bis 4.4.6):

- Die Kartendarstellung in den verschiedenen Zoom-Stufen (Adaptives Zooming)
- Die Platzierung des GPS-Symbols
- Die Verortung an linearen oder flächenhaften Objekten (Snapping und PointInPolygon)
- Die dynamische Anzeige von Symbolen und Texten

Der Workflow, der die GPS-Position in der Karte visualisiert, sieht wie folgt aus: Über den Bluetooth-Manager (Teil des Betriebssystems) muss die Verbindung zum GPS-Empfänger hergestellt werden. In der Applikation kann anschliessend über ein Menu der GPS-Empfang aktiviert werden. Die Daten, die im NMEA-Format gesendet werden, werden über die serielle Schnittstelle empfangen. In der Shell-Applikation werden die Daten mit VisualBasic-Funktionen ausgelesen, interpretiert und in Schweizerische Landeskoordinaten umgerechnet. Dann werden die Koordinaten via ActiveX an eine JavaScript-Funktion übergeben. Die JavaScript-Funktion greift auf ein vordefiniertes Symbol-Element in der SVG-Karte zu und platziert es gemäss den empfangenen Koordinaten. Die einzelnen Komponenten des Workflows werden in den folgenden Sektionen genau beschrieben.

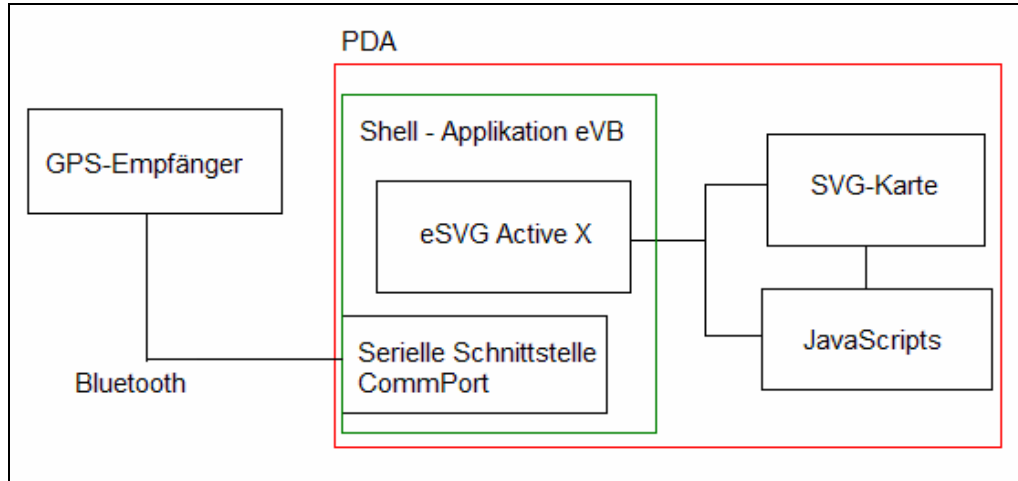


Abb. 17: Systemarchitektur der Prototyp-Applikation

4.5.4 Die geografische Position

Die geografische Position auf dem Globus wird mit einem GPS-Empfänger bestimmt. In der Shell-Applikation werden aus den empfangenen Daten, die im Format NMEA-0183 vorliegen, die Weltkoordinaten ausgelesen. Anschliessend werden die Weltkoordinaten in die Projektion der Schweizerischen Landeskoordinaten umgerechnet.

Auslesen der NMEA Daten

NMEA-Daten liegen im ASCII Format vor und sind unterteilt in Sätze von höchstens 80 Zeichen. Ein Satz beginnt mit „\$“ und endet mit einem Zeilenumbruch „[CR][LF]“. Er besteht aus einer Adresse (die ersten fünf Zeichen) und mehreren durch Komma getrennten Datenfeldern. Die Datenfelder enthalten unter anderem Informationen zu Position, Geschwindigkeit, Höhe und Kurs des GPS-Empfängers.

Beispiel eines NMEA-Satzes:

```
$GPRMC,191410,A,4735.5634,N,00739.3538,E,0.0,0.0,181102,0.4,E,A*19
[CR][LF]
```

Die ersten beiden Zeichen der Adresse bezeichnen die so genannte Talker-ID. Die ID "GP" kennzeichnet einen GPS-Empfänger. Die verbleibenden drei Zeichen bestimmen den Typ des Satzes, das heisst, welche Informationen in diesem Satz übermittelt werden. Die Adresse im Beispiel mit der Zeichenfolge „RMC“ bezieht sich auf die von NMEA empfohlene Mindestanforderung, die ein GPS-Empfänger ausgeben soll (RMC = recommended minimum sentence C). Die Bedeutungen der einzelnen Datenfelder sind in der folgenden Tabelle erläutert.

Header	Feld	Beschreibung
\$GPRMC	1	Zeit (UTC)
	2	Status (A=OK, V=Warnung)
	3	Breite (WGS84)
	4	Nord (N) oder Süd (S)
	5	Länge (WGS84)
	6	Ost (E) oder West (W)
	7	Geschwindigkeit in Knoten
	8	Richtung in Grad
	9	Datum
	10	Magnetische Abweichung
	11	Ost (E) oder West (W)
	12	Prüfsumme

Tab. 3: Die Bedeutung der Felder eines GPRMC-Satzes

Die NMEA-Sätze können innerhalb der Shell-Applikation mit VBScript ausgelesen werden. Über die Adresse und das vordefinierte Satzformat kann auf die einzelnen Felder zugegriffen werden.

Neben dem beschriebenen GPRMC - Satz werden im Prototyp auch die Sätze GPGLA (GGA = Global Positioning System Fix Data) und GPSGSA (GSA = GPS DOP and active satellites) verwendet. Diese beiden Sätze enthalten Angaben zur Positionsgenauigkeit und Informationen zu den Satelliten. Mit diesen Informationen kann der Benutzer über den aktuellen Status des GPS-Empfanges informiert werden. [WWW6]

Umrechnung in Schweizerische Landeskoordinaten

Die Umrechnung von den geografischen Weltkoordinaten (WGS84) auf die Schweizer Projektionskoordinaten (CH1903) erfolgt mit einer Näherungsformel [WWW7].

Dazu müssen die Weltkoordinaten zuerst in Sexagesimalsekunden umgerechnet werden, woraus das Koordinatenpaar (φ, λ) resultiert. Von diesem Koordinatenpaar werden die Hilfsgrößen φ' und λ' abgeleitet (Breiten- und Längendifferenz gegenüber Bern in der Einheit [10000"]):

$$\varphi' = \frac{\varphi - 169028.66}{10000} \quad \lambda' = \frac{\lambda - 26782.5}{10000}$$

Die Schweizerischen Landeskoordinaten x und y werden nun wie folgt berechnet:

$$x = 200147.07 + 308807.95 \varphi' + 3745.25 \lambda'^2 + 76.63 \varphi'^2 + 119.79 \varphi'^3 - 194.56 \lambda'^2 \varphi'$$

$$y = 600072.37 + 211455.93 \lambda' - 10938.51 \lambda' \varphi' - 0.36 \lambda' \varphi'^2 - 44.54 \lambda'^3$$

Mit dieser Annäherung lassen sich die Landeskoordinaten auf einen Meter genau bestimmen.

4.5.5 Die semantische Position

Die Position des GPS-Empfängers liegt nach der Umrechnung ins System der Schweizerischen Landeskoordinaten als Koordinatenpaar (x,y) vor. Wie kann nun aber die Applikation „wissen“, wo sich der Sender befindet? Die geografische Position ist bekannt, unbekannt ist aber die semantische Position, sprich in welcher Strasse oder auf welchem Platz sich der Sender befindet. Das SVG-Format sowie der verwendete SVG-Viewer bieten für diese Problema-

Die Lösung muss selber entwickelt werden. Das Problem lässt sich dabei in zwei Teile gliedern: die Verortung an linearen Objekten (Strassen und Wege) und die Verortung an flächenhaften Objekten (Plätze und Parkanlagen).

Verortung an linearen Objekten

Das mathematische Äquivalent zum Problem der Verortung an linearen Objekten ist der Test, ob sich ein Punkt auf einer Linie befindet. Mathematisch lässt sich dabei ein Punkt in der Ebene als Koordinatenpaar (x,y) beschreiben. Eine Linie wird durch die Geradengleichung $y = mx + b$ beschrieben. Ein Punkt befindet sich genau dann auf einer bestimmten Linie, wenn dessen Koordinaten x und y die Geradengleichung $y = b + mx$ erfüllen. Sonderfälle müssen berücksichtigt werden wenn die Steigung der Geraden (m) Null oder Unendlich ist.

Ein Algorithmus, der herausfindet, ob sich ein Punkt (GPS-Signal) auf einer Linie (Strasse) befindet, kann wie folgt beschrieben werden:

```
For (Durchlaufe alle Liniensegmente)
{
    If(Punkt befindet sich auf dem Liniensegment)
        Gib die ID des Liniensegmentes zurück
        Verlasse die Schlaufe
    Else
        Gehe zum nächsten Liniensegment
}
```

Dieser Algorithmus ist aber aus folgenden Gründen nicht praxistauglich: Eine Strasse ist wohl in den Daten ein lineares Objekt, in der Realität jedoch ist eine Strasse ein flächenhaftes Objekt. Mit dem beschriebenen Algorithmus wird deshalb nur dann eine Strasse gefunden, wenn sich das Signal genau auf der Strassenachse befindet. In Wirklichkeit wird dies sehr selten der Fall sein. Der Algorithmus muss deshalb so erweitert werden, dass ein Punkt auch dann noch einer Strasse zugeordnet wird, wenn das Signal leicht von der Strassenachse abweicht. Dieser Ansatz zwingt sich auch dadurch auf, da sich die Signalgenauigkeit des GPS im Bereich von einigen Metern befindet. Für die Abweichung von der Strassenachse kann deshalb ein Toleranzbereich festgelegt werden. Nur wenn sich das GPS-Signal innerhalb des Toleranzbereiches einer Strasse befindet, wird es dieser zugeordnet. Andernfalls erfolgt keine Zuordnung zu einer Strassenachse.

Das mathematische Äquivalent zu dieser Problemstellung ist das Fällen des Lotes auf eine Gerade (siehe Abb. 13). Die tolerierte Abweichung bezieht sich in diesem Fall auf den senkrechten Abstand des Punktes zur Linie. Ein Punkt kann sich jedoch im Toleranzbereich von mehreren Linien befinden. In diesem Fall soll der Punkt der am nächsten gelegenen Linie zugeordnet werden. Um das Liniensegment mit dem kleinsten Abstand zu finden, muss der Abstand Punkt - Linie für jedes Liniensegment berechnet werden. Allerdings können schon im Voraus Liniensegmente ausgeschlossen werden, bei denen sich der Punkt gar nicht in der um den Toleranzbereich erweiterten Boundingbox des Liniensegmentes befindet (siehe Abb. 14).

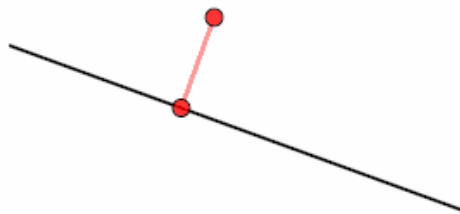


Abb. 18: Senkrechter Abstand zwischen Punkt und Linie

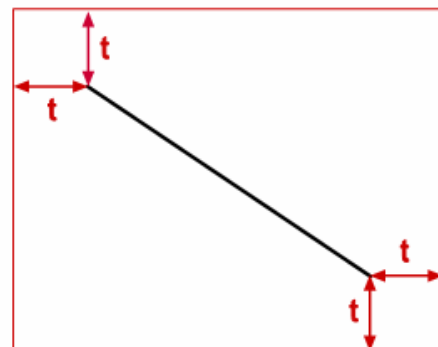


Abb. 19: Darstellung der Boundingbox um ein Liniensegment mit Toleranzbereich (t)

Die mathematische Formel zum Fällen eines Lotes bezieht sich auf eine Gerade und nicht auf ein Liniensegment. Wird ein Lot auf ein Liniensegment gefällt, besteht die Möglichkeit, dass sich der Fusspunkt ausserhalb des Liniensegmentes befindet. Deshalb muss immer auch geprüft werden, ob sich der Fusspunkt tatsächlich auf dem Liniensegment befindet.

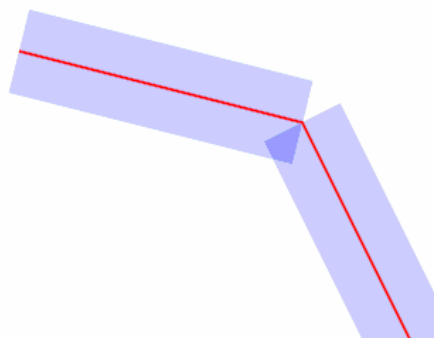


Abb. 20: Darstellung der Toleranzbereiche entlang von Liniensegmenten

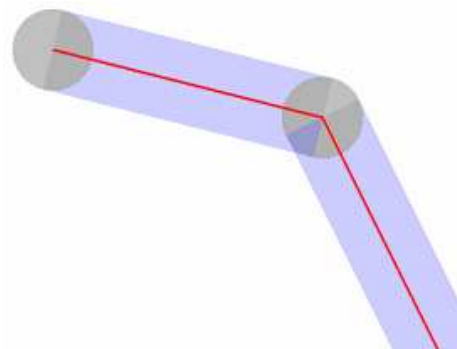


Abb. 21: Darstellung der Toleranzbereiche entlang von Liniensegmenten und um Liniensegmenten

Fällen des Lotes von einem Punkt P auf eine Linie:

Geradengleichung des Liniensegmentes l_1 : $y = m_1x + b_1$

Punkt P : (x_p, y_p)

Steigung senkrecht zum Liniensegment l_1 : $m_2 = \frac{-1}{m_1}$

⇒ Geradengleichung der Senkrechten l_2 zu l_1 , die durch P geht: $y_p = m_2x_p + b_2$

Schnittpunkt bestimmen:

Linien l_1 und l_2 schneiden: $l_1 \cap l_2 \Rightarrow m_1x + b_1 = m_2x + b_2$

Koordinaten des Schnittpunktes S bestimmen: $x_s = \frac{b_2 - b_1}{m_1 - m_2}$, $y_s = m_2x_s + b_2$

Abstand zwischen Punkt und Linie:

Die Linie ist gegeben durch zwei Punkte $P_1(x_1, y_1)$ und $P_2(x_2, y_2)$.

Der Vektor senkrecht zur Linie ist gegeben durch $\vec{v} = \begin{pmatrix} y_2 - y_1 \\ x_1 - x_2 \end{pmatrix}$

Es soll r ein Vektor vom Punkt $P(x_p, y_p)$ zum ersten Punkt der Linie sein: $\vec{r} = \begin{pmatrix} x_1 - x_p \\ y_1 - y_p \end{pmatrix}$

Der Abstand vom Punkt P zur Linie kann bestimmt werden durch die Projektion

von \vec{r} auf \vec{v} .

$$d = |\vec{r} \cdot \vec{v}| = \frac{|(x_2 - x_1)(y_1 - y_p) - (x_1 - x_p)(y_2 - y_1)|}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}$$

Tab. 4: Formeln „Abstand Punkt - Linie“ [DMK92]

Die Verortung an einem Liniensegment erfolgt immer in senkrechter Richtung zum Segment. An End- oder Knickpunkten entstehen dadurch aber geometrische Orte innerhalb des Toleranzbereiches, die keinem Liniensegment zugeschlagen werden können (siehe Abb. 15). An End- oder Knickpunkten muss daher der Abstand nicht senkrecht zum Segment, sondern radial zum End- oder Knickpunkt hin berechnet werden (siehe Abb. 16). Im Algorithmus werden

dazu, wenn kein Liniensegment innerhalb des Toleranzbereiches gefunden wird, alle Linienpunkte durchlaufen und nach dem radialen Abstand getestet.

Neben der ID des Liniensegmentes ist auch der Fusspunkt des Lotes von Interesse. Denn mit Hilfe der Koordinaten des Fusspunktes kann das GPS-Symbol positioniert werden. So wird optisch direkt ersichtlich, auf welchem Strassensegment in der Karte man sich befindet.

Der Algorithmus zur Verortung an linearen Objekten, der alle nötigen Bedingungen erfüllt, sieht wie folgt aus:

```
For (Durchlaufe alle Liniensegmente)
{
    If (Punkt befindet sich ausserhalb der Boundingbox mit Toleranz)
        Gehe zum nächsten Liniensegment
    If (Fusspunkt befindet sich nicht auf dem Liniensegment)
        Gehe zum nächsten Liniensegment
    Else
        Suche die Linie mit dem minimalen Abstand zum Punkt der
        kleiner als die Toleranz ist
}
If (Fusspunkt gefunden)
    Gib die ID des Liniensegmentes zurück
    Gib die Koordinaten des Fusspunktes zurück
Else
    For (Durchlaufe alle Linienpunkte)
    {
        If (Punkt befindet sich ausserhalb der Abweichungstoleranz)
            Gehe zum nächsten Linienpunkt
        Else
            Gib die ID der zum Linienpunkt gehörigen Linie zurück
            Gib die Koordinaten des Linienpunktes zurück
    }
```

Dieser Algorithmus kann mit JavaScript implementiert und auf diese Weise der Applikation verfügbar gemacht werden. Die Applikation „weiss“ nun, auf welche Strasse sich die Koordinaten des GPS-Empfängers beziehen. Zusätzlich kann das GPS-Symbol in der Karte sauber auf die richtige Strasse positioniert werden.

Die Rechenleistung eines PDA ist sehr beschränkt, deshalb ist die Abarbeitung dieses Algorithmus, bei dem alle Strassensegmente durchlaufen werden müssen, sehr langsam. Durch die Kachelung der Daten wird dieses Problem entschärft. Der Algorithmus muss nur noch die Segmente einer kleinen Kachel durchlaufen und ist auch auf einem PDA genügend schnell.

Verortung an flächenhaften Objekten

Plätze und Parkanlagen sind die wichtigsten flächenhaften Objekte im Testgebiet. Geometrisch sind diese Objekte vom Typ Polygon. Damit ein Punkt in einem Polygon semantisch verortet werden kann, muss bekannt sein, ob sich der Punkt innerhalb oder ausserhalb eines Polygons befindet. In den vorhandenen Daten liegen die Plätze und Kreuzungen jedoch nicht als Polygone vor. Sie müssen zuerst als Polygone erfasst und aufbereitet werden

Wenn die flächenhaften Objekte als Polygone vorliegen, gibt es folgende Möglichkeit, das Verortungsproblem zu lösen:

Von einem Punkt aus wird ein Strahl in horizontaler Richtung abgeschickt. Falls der Strahl sich nicht mit den Seitensegmenten des Polygons schneidet, liegt der Punkt ausserhalb des Polygons. Falls sich der Strahl mit den Polygonsegmenten in einer geraden Anzahl Schnittpunkten schneidet, befindet sich der Punkt ebenfalls ausserhalb des Polygons. Der Punkt liegt nur dann innerhalb des Polygons, wenn es eine ungerade Anzahl an Schnittpunkten gibt.

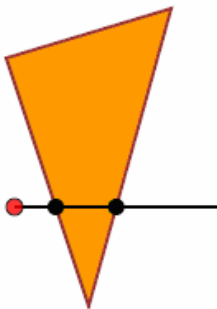


Abb. 22: Gerade Anzahl Schnittpunkte: Der Punkt liegt nicht im Polygon

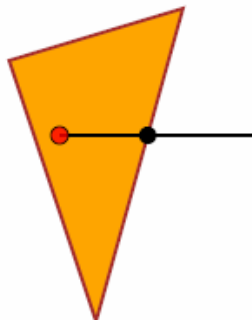


Abb. 23: Ungerade Anzahl Schnittpunkte: Der Punkt liegt im Polygon

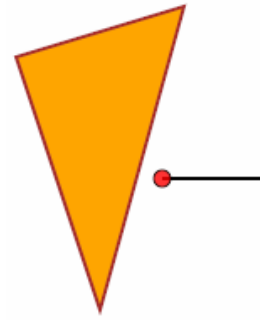


Abb. 24: Keine Schnittpunkte: Der Punkt liegt nicht im Polygon

Der Algorithmus zur Verortung an flächenhaften Objekten, der das "Punkt-in-Polygon-Problem" löst, sieht wie folgt aus:

```
Zähler = 0
```

```
For (Durchlaufe alle Liniensegmente des Polygons)
{
  If (Punkt.Y ist zwischen den Y-Werten der beiden Segmentpunkte)
    If (Punkt.X < grösster X Wert der beiden Segmentpunkte)
      Berechne Schnittpunkt der waagrechten Linie durch X
      mit dem Liniensegment
    If (Punkt.X <= Schnittpunkt.X)
      Erhöhe den Zähler um 1
}
If (Zähler = gerade)
  Punkt ist ausserhalb Polygon
Else
  Punkt ist innerhalb Polygon
  Gib die ID des Polygons zurück
```

Die Implementierung dieses Algorithmus in JavaScript stammt von Kevin Lindsey [WWW8]. Mit dieser Implementierung kann die Applikation die semantische Position auch bei flächenhaften Geometrien bestimmen. Durch die Kachelung der Daten ist dieser Algorithmus auch auf einem PDA genügend schnell.

Datenaufbereitung für die Polygone und die Liniensegmente

Die Daten der verschiedenen Massstabsebenen sind, wie bereits beschrieben, in Kacheln aufgeteilt. Die kleinsten Kacheln haben eine Kantenlänge von 250 Metern. Diese kleinsten Kacheln beinhalten aber immer noch so viele Geometrielemente, dass die Verortungsalgorithmen sehr langsam arbeiten. Die Daten müssen deshalb in weitaus kleinere Kacheln unterteilt werden. Eine gute Kachelgrösse ergibt sich bei 100 Meter Kantenlänge. Auf diese Weise werden die Daten nicht in unnötig viele Stücke zerteilt und die Verortungsalgorithmen arbeiten relativ zügig. Diese Kacheln werden ausschliesslich aufbereitet, um die Verortungsalgorithmen schneller zu machen. Sie werden nicht in der Karte visualisiert. Für die kartografische Darstellung werden weiterhin die im Kapitel 4.3.2 beschriebenen Kacheln verwendet.

Die folgende Übersicht beschreibt die Arbeitsschritte vom Erfassen der Verortungsgeometrien bis zur Aufbereitung der Kacheln.

1. Erfassen der Polygone für flächenhafte Objekte

Die Plätze und Parkanlagen im Testgebiet werden mit den Digitalisierwerkzeugen von Geomedia erfasst. Die resultierenden Vektordaten stellen randscharfe Entitäten dar. Insbesondere bei Kreuzungen ist jedoch nicht so genau klar, was eindeutig zur Kreuzung gehört und was nicht. Diese Unschärfe wird mit dem verwendeten Polygonmodell nicht abgebildet.

2. Abschneiden der Linien unterhalb der Polygone

Die in den Daten enthaltenen Strassenlinien laufen an Plätzen typischerweise zusammen. Wenn die Plätze nun aber als Polygone vorliegen, müssen die Strassen so abgeschnitten werden, dass keine Überlappung mit den Polygonen mehr besteht. Nur so kann sichergestellt werden, dass bei einem GPS-Signal, welches von einem Platz kommt, auch wirklich dieser Platz identifiziert wird und nicht eine der umliegenden Strassen.



Abb. 25: Darstellung der aufbereiteten Daten zur semantischen Verortung über der normalen Karte. Die Strassenlinien sind abgeschnitten, so dass keine Überlappung mit den Polygonen besteht.

3. Export ins Shape-Format

4. Konvertieren von Shape ins SVG-Format

Die Shape-Datei wird mit *shape2svg* in SVG-Code konvertiert.

5. Parsen der Geometrien mit JavaScript

Die Geometrien sind im SVG-Code innerhalb der Kacheln als offene oder geschlossene Pfade gespeichert. Eine SVG-Kachel mit den eingeschlossenen Pfaden hat folgende Form:

```
<g id="id="Snaps_683200_248100">
  <path id="s_207" d="M683200 -248110.21-100 -37.3-3.2 -9.1" />
  <path id="s_208" d="M683200 -248110.21-100 -37.3-3.2 -9.1" />
  ...
</g>
```

Im Attribut "d" sind die Punkte der Pfadgeometrie abgelegt. Nach dem "M" folgt das erste Koordinatenpaar (x,y), die weiteren Koordinatenpaare beziehen sich relativ auf den vorhergehenden Punkt. Um mit den Liniensegmenten arbeiten zu können, müssen die relativen Koordinaten in absolute umgerechnet werden. Auf der Homepage von Kevin Lindsey findet sich eine in JavaScript implementierte Funktion mit der dies gemacht werden kann [WWW8]. Die Koordinatenpaare werden zu Punktobjekten transformiert und in einem Punkt-Array gespeichert. Je zwei aufeinander folgende Punkte bilden zusammen ein Liniensegment. Ein Array mit Linienindizes hält fest, ob sich zwischen zwei Punkten tatsächlich eine Linie befindet, oder ob es sich um eine Lücke zwischen zwei Pfaden handelt.

Im Prinzip können die Verortungsalgorithmen mit diesen Daten arbeiten. Wegen der geringen Rechnerkapazität benötigt das Parsen des SVG-Codes relativ viel Zeit. Die geparsen Geometrien werden deshalb in Form von aufbereiteten Punkt- und Linienlisten direkt in den SVG-Code integriert.

Eine aufbereitete Kachel hat die folgende Form:

```
<g id="Snaps_683200_248100" points="683200,-248110,.. " lines="0,1..">
```

Im Attribut "points" sind die absoluten Koordinaten abgelegt, im Attribut "lines" die Linienindizes. Eine auf diese Weise aufbereitete Kachel kann nun schnell und effektiv eingelesen werden.

4.5.6 Platzierung von Symbolen entfernter Merkzeichen

Merkzeichen, die sich innerhalb des Kartenausschnittes befinden, werden mit einem kartografischen Symbol dargestellt. Die Symbole können dabei einfach über die Koordinaten des

Merkzeichens platziert werden. Schwieriger gestaltet sich die Platzierung der Symbole von Merkzeichen, die sich ausserhalb des Kartenausschnittes befinden. Das Symbol soll so am



Abb. 26: Schnittpunkt der Sichtachse mit dem Kartenrand

Kartenrand platziert werden, dass es genau auf der Verbindung zwischen der aktuellen Position und dem entfernten Merkzeichen zu liegen kommt. Der geometrische Ort, der diese Bedingung erfüllt, ist der Schnittpunkt zwischen der Verbindung Position - Merkzeichen und dem Rand des Kartenausschnitts. Das Symbol kann aber nicht direkt auf dem Schnittpunkt platziert werden, weil dann die eine Hälfte des Symbols ausserhalb der Karte liegen würde. Die Lage des Symbols muss also zu einem Punkt innerhalb der Karte verschoben werden, so dass das

ganze Symbol innerhalb der Karte liegt. Zudem muss beachtet werden, dass die neue Lage immer noch auf der Verbindung Position - Merkzeichen liegt.

Bevor die Symbole entfernter Merkzeichen platziert werden können, muss das Programm allerdings feststellen, welche Merkzeichen sich innerhalb, und welche sich ausserhalb des Kartenausschnittes befinden. Die symbolisierten Verweise auf die entfernten Merkzeichen dürfen nur genau für diejenigen Merkzeichen dargestellt werden, die sich auch wirklich ausserhalb des Kartenausschnittes befinden. Da die meisten Merkzeichen als einfache Punktobjekte vorliegen (z.B. Gebäude, Bergspitzen, Türme), muss das Programm nur überprüfen, ob sich die entsprechenden Punkte inner- oder ausserhalb der Karte befinden. Falls sich ein Punkt ausserhalb der Karte befindet, wird am Kartenrand ein Verweis auf dieses Merkzeichen platziert. Der Zürichsee jedoch, der auch zu den Merkzeichen gehört, ist zu ausgedehnt, als dass er als Punktobjekt interpretiert werden könnte. Hier muss die gesamte Geometrie daraufhin überprüft werden, ob sich Teile des Sees innerhalb oder ausserhalb der Karte befinden. Ein Verweis auf den See als entferntes Merkzeichen darf nur dann gesetzt werden, wenn der gesamte See ausserhalb des Kartenausschnittes liegt.

4.5.7 Probleme bei der technischen Umsetzung

Bei der Prototypentwicklung sind verschiedene Probleme aufgetreten. Es konnten daher nicht alle zu Beginn dieses Kapitels formulierten Anforderungen umgesetzt werden. Die grössten Probleme stellen die langen Aufbereitungszeiten der SVG-Grafiken auf dem PDA dar. Das Problem besteht darin, das SVG ein textbasiertes Datenformat ist. Bei der Bildaufbereitung

muss das Gerät dabei die Textdatei mit dem SVG-Code zuerst auslesen und in Maschinencode umwandeln. Dieser Prozess ist rechenintensiv und führt auf einem PDA mit beschränkter Rechenleistung zu entsprechend langen Aufbereitungszeiten. Durch die Kachelung der Daten konnte dieser Effekt immerhin soweit in den Griff bekommen werden, dass die Applikation auf dem PDA akzeptabel schnell läuft. Je nach Ausschnitt dauert eine Neuaufbereitung der Karte zwischen einer und vier Sekunden.

Aufgrund dieser langen Ladezeiten konnte die Anforderung, wonach die Karte automatisch in Laufrichtung ausgerichtet werden soll, nicht umgesetzt werden. Die Laufrichtung lässt sich zwar aus dem GPS-Signal auslesen, die Karte müsste dann aber bei jeder Richtungsänderung des Benutzers neu geladen werden. Bei vielen Richtungsänderungen in kurzer Zeit würde dies die Applikation so träge machen, dass sie unbrauchbar würde.

Ursprünglich war geplant, alle Merkzeichen in Abhängigkeit ihrer Sichtbarkeit darzustellen. Die lokalen Merkzeichen, die sich innerhalb des Kartenausschnittes befinden, hätten je nach Sichtbarkeit in der Helligkeit unterschieden werden können. Die Verweise auf die entfernten Merkzeichen wären nur bei tatsächlicher Sichtbarkeit des Merkzeichens dargestellt worden. Die Berechnung der Sichtbarkeit für jedes Merkzeichen ist auf einem PDA jedoch nicht realisierbar. Als Kompromiss werden daher die Verweise zu den wichtigsten Bezugspunkten immer dargestellt. Die Darstellung von Verweisen im Sinne einer Sichtbarkeitsanalyse ist nur auf einer kleinen Teststrecke entlang dem Limmatquai umgesetzt worden.

5. Evaluation

Dieses Kapitel enthält die Informationen, wie und nach welchen Kriterien der Prototyp getestet und bewertet worden ist. Im ersten Unterkapitel werden die Ziele der Evaluation definiert, dann wird aufgezeigt, wie die Evaluation durchgeführt worden ist und schliesslich werden die gewonnenen Daten ausgewertet.

5.1 Testziel

Die Evaluation hat zwei Ziele: Zum einen soll der Prototyp und damit die kartografische Umsetzung bewertet werden. Andererseits soll mit der Evaluation eine Datengrundlage geschaffen werden, mit der die Arbeitshypothese bestätigt oder verworfen werden kann. Bei dieser Evaluation ist zu beachten, dass die Resultate, das heisst die Datengrundlagen zur Bewertung der Hypothesen, von der Qualität der kartografischen Umsetzung abhängig sind. Die Daten für die Überprüfung der Hypothese, wonach die Navigation durch die Anzeige der Strukturelemente leichter wird, haben nur dann einen Wert, wenn die kartografische Umsetzung genügend gut ist.

Für die Evaluation ist ein Fragebogen entworfen worden, der die beiden Evaluationsziele berücksichtigt.

Bewertung des Prototyps und der kartografischen Umsetzung

Um die Qualität des Prototyps bewerten zu können, werden Fragen zur Bedienung des Gerätes gestellt. Weitere Fragen betreffen die allgemeine kartografische Darstellung der Karte oder beziehen sich auf die Lesbarkeit und Verständlichkeit von Kartensymbolen. Die Evaluation des Prototyps und der kartografischen Umsetzung werden im Sinne einer bewertenden Evaluation durchgeführt.

Datengrundlage zur Überprüfung der Hypothese

Um eine Datengrundlage zu schaffen für die Überprüfung der im Kapitel 1.3.1 formulierten Hypothese müssen die Fragen so formuliert werden, dass die erhaltenen Antworten verwertbare Indikatoren darstellen [Bop02: 101]. Einige der Strukturelemente sind zweifellos besser zur Navigation oder zur Orientierung geeignet als andere. Zudem können nicht alle Strukturelemente gleich gut mit kartografischen Mitteln operationalisiert werden. Im

Fragebogen wird daher jedes Strukturelement im Bezug auf seine Brauchbarkeit zur Orientierung und Navigation einzeln bewertet. Die Testpersonen können den Grad ihrer Zustimmung zu den entsprechenden Fragen anhand einer Ratingskala vornehmen. Auf eine mittlere oder neutrale Antwortmöglichkeit wird bewusst verzichtet. Die Testperson wird dadurch gezwungen, wenigstens ein tendenzielles Urteil abzugeben [Heg03], [Web02].

Der verwendete Fragebogen befindet sich im Anhang.

5.2 Testdurchführung

Ein Test besteht aus den drei Teilen Einführung, Testspaziergang und Fragebogen.

Einführung

Vor dem Testspaziergang werden die Teilnehmer über den Hintergrund der Arbeit informiert. Da die meisten Testpersonen die Forschungsrichtung der Raumkognition nicht kennen, wird wo möglich auf Fachbegriffe und komplizierte Formulierungen verzichtet. Die Einführung soll so einfach wie möglich gehalten werden. Zuerst wird kurz die Hauptidee der Arbeit erklärt (Versuch der Umsetzung von Wissen aus der Raumkognition in die Kartografie). Anschliessend wird aufgezeigt, welche Elemente für die menschliche Raumvorstellung wichtig sind (Strukturelemente von Lynch) und dass diese Elemente die Grundlage für die Umsetzung bilden.³ Schliesslich werden der Testperson die kartografischen Symbole erklärt, die in der Karte des Prototyps vorkommen.

Nach diesen thematischen Einführungen folgen einige Erläuterungen zu den technischen Geräten, die während des Tests zur Anwendung kommen. Bei Bedarf wird kurz die Funktionsweise des GPS erklärt. Dann wird die Prototyp-Applikation auf dem PDA gestartet. Der Testperson werden die wichtigsten Funktionen gezeigt und erklärt. Insbesondere wird darauf hingewiesen, dass die Applikation zum Teil etwas träge reagiert und deshalb manchmal etwas Geduld gefordert ist. Schliesslich wird darauf aufmerksam gemacht, dass es sich bei der Applikation um einen Prototypen handelt und der Test als Experiment zu verstehen ist. Es geht um die Bewertung der Hilfen zur Navigation und nicht um die Bewertung der Leistungsfähigkeit der Applikation.

³ Zu Beginn war beabsichtigt, diese Elemente nicht zu erwähnen. Nach den ersten Pretests wurde aber rasch klar, dass im Bezug auf die Strukturelemente Erklärungsbedarf besteht. Deshalb wurde dazu übergegangen, die Strukturelemente am Anfang kurz zu beschreiben.

Testspaziergang

Der Testspaziergang führt durch die Innenstadt von Zürich und dauert 30 - 40 Minuten. Da die verwendeten Fotos zu den Merkzeichen bei Tag aufgenommen wurden, wird der Test bei Tageslicht durchgeführt. Die Testperson wird während des Spaziergangs von mir begleitet, so dass auf allfällige Fragen oder Probleme bei der Bedienung des Gerätes reagiert werden kann. Gemäss der Zielformulierungen am Anfang dieser Arbeit soll der Prototyp eine Navigationshilfe für das explorative Navigieren sein. Der ideale Testspaziergang wäre daher frei von jeglichen Anweisungen oder Einschränkungen. Entgegen diesen Zielvorgaben müssen dennoch folgende Einschränkungen getroffen werden: In den engen Gassen der Altstadt ist der GPS-Empfang oft nicht gewährleistet, der Proband wird deshalb darauf hingewiesen, solche Bereiche zu meiden. Für den Strassenzug des Limmatquais werden einige zusätzliche Merkmale auf dem Bildschirm angezeigt. Die Testperson wird deshalb dazu angehalten, einen Teil des Limmatquais in den Spaziergang zu integrieren. Zudem müssen von der Testperson während dem Spaziergang alle Strukturelemente beobachtet worden sein, um den Fragebogen vollständig beantworten zu können.

Fragebogen

Im Anschluss an den Testspaziergang wird von der Testperson der Fragebogen ausgefüllt. Es wird darauf hingewiesen, dass bei Unklarheiten nachgefragt werden soll. Auf der letzten Seite des Fragebogens soll eine Karte von der Zürcher Innenstadt gezeichnet werden. Die Testpersonen werden aufgefordert, die Karte aus dem Kopf so zu zeichnen, dass sie einem Fremden grob die Struktur der Innenstadt erklären können.

Durchführung

Die Evaluation des Prototyps wurde mit 30 Personen während einer Zeitspanne von vier Wochen durchgeführt. Nach der Einführung, die meistens in der Nähe des Hauptbahnhofes stattfand, folgte der Testspaziergang durch die Innenstadt. Den Endpunkt des Spaziergangs konnten die Teilnehmer selbst bestimmen. Der Fragebogen wurde jeweils direkt im Anschluss an den Spaziergang von der Testperson ausgefüllt. Bis auf wenige Ausnahmen wurde der Test mit Einzelpersonen durchgeführt. Es waren nie mehr als zwei Personen an einem Testspaziergang anwesend.

5.3 Datenauswertung

Am Test haben 12 weibliche und 18 männliche Personen teilgenommen. Der Altersdurchschnitt dieser 30 Probanden liegt bei 31.8 Jahren; die jüngste Person ist 23 Jahre, die Älteste 61 Jahre alt. Die meisten Probanden sind zwischen 25 und 30 Jahre alt (Median 27.5 und Modus 27). Die Teilnehmer haben unterschiedliche Kenntnisse über das Testgebiet: 8 Personen kennen sich sehr gut aus, 13 kennen sich gut aus und 9 kennen das Testgebiet nur wenig.

Neben Geschlecht, Alter und Kenntnisstand des Testgebietes sind auch die Erfahrung mit Geografischen Informationssystemen oder die Erfahrung im Umgang mit PDAs erhoben worden. Bei der Datenauswertung sind diese Profile berücksichtigt worden. Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Profilklassen sind allerdings in den meisten Fällen vernachlässigbar klein. Einzig die unterschiedlichen Kenntnisse zum Testgebiet haben einen Einfluss auf die Resultate einiger Fragen. Die folgenden Auswertungen beziehen sich daher, wenn nicht anders erwähnt, immer auf alle Probanden.

Der Fragebogen enthält geschlossene und offene Fragen. Die geschlossenen Fragen werden mit Hilfe einer Ratingskala beantwortet. Für die Auswertung der resultierenden Daten kann daher ein metrisches Skalenniveau (Intervallskala) angenommen werden. Dies ermöglicht eine quantitative Analyse dieser Fragen. Die offenen Fragen werden qualitativ ausgewertet.

5.3.1 Quantitative Auswertung

Bei der quantitativen Analyse werden in Anlehnung an den Fragebogen alle Strukturelemente jeweils einzeln ausgewertet.

Strassen und Wege

Für die meisten Probanden sind die Symbole zu den Strasseneigenschaften sehr leicht verständlich. Es hat sich aber gezeigt, dass trotz dieser guten Verständlichkeit der Strasseneigenschaften für die Orientierung der angezeigte Strassenname als deutlich hilfreicher beurteilt wird (siehe Abb. 24). Diese Unterschiede zeigen sich auch bei Modus und Median: Beide Werte liegen für die Strassenamen in der Stufe „sehr hilfreich“, für die Strasseneigenschaften in der Stufe „hilfreich“. Möglicherweise spielt es hier eine Rolle, dass die Orientierung anhand der Strassenamen eindeutig erfolgen kann, während die Strasseneigenschaften nur Anhaltspunkte bieten. Zudem hat vermutlich auch das gewohnte Lesen von Stadtplänen einen Einfluss, bei dem die Strassenamen von zentraler Bedeutung sind.

Einen weiteren Einfluss auf dieses Resultat hat möglicherweise auch die Platzierung der beiden Elemente auf dem Display: Der Strassenname wird auffällig im oberen Teil der Karte

präsentiert, während die Symbole der Strasseneigenschaften eher klein am unteren Rand des Displays dargestellt werden.

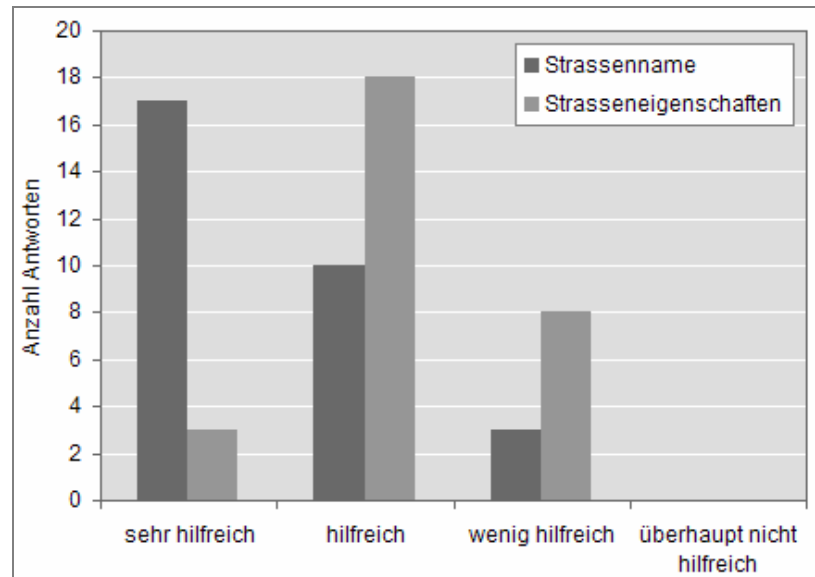


Abb. 27: Vergleich der Anzahl Antworten zwischen „Strassenname“ und „Strasseneigenschaften“

Grenzen

In der Karte werden vor allem die Querverbindungen zu den Grenzlinien betont. Da die Brücken schon genügend gut sichtbar sind, werden einzig in den Detailkarten zu den Brennpunkten die Fussgängerstreifen und die Unterführungen hervorgehoben. Diese Umsetzung wird von 18 Probanden als sehr hilfreich und von 10 als hilfreich eingestuft. Modus und Median liegen in der höchsten Bewertungsstufe.

Es ist jedoch anzumerken, dass während der Testspaziergänge fast keine Probanden eine Strasse gemäss diesen Querverbindungen zu überqueren versucht haben. Die gute Bewertung könnte aber darauf zurückzuführen sein, dass es für Fussgänger generell mühsam ist, verkehrsreiche Strassen zu überqueren und eine Betonung der Überquerungsmöglichkeiten diesen Umstand entschärft. Zudem kann auch die Tatsache einen Einfluss haben, dass bei Brennpunkten, zu denen die Detailkarten erstellt wurden, die idealen Verbindungen für Fussgänger oft nur schwer zu finden sind.

Bereiche

Um das Stadtgefüge in der Übersicht besser erkennen zu können, sind die zentralen Stadtbe-
reiche unterschiedlich eingefärbt. Damit soll die Groborientierung in der Übersichtskarte er-

leichtert werden. 10 Probanden halten dies für sehr hilfreich, 15 halten es für hilfreich. Median und Modus liegen bei der Bewertungsstufe „hilfreich“.

Aufgrund der Testsituation, bei der sich die Spaziergänge auf die Innenstadt beschränkt haben, ist die Übersichtskarte allerdings sehr selten verwendet worden. Die Probanden wussten, dass sie sich im Stadtzentrum bewegen und haben während des Tests meist Karten mit relativ grossen Massstäben benutzt. Vielleicht wären die Resultate anders ausgefallen, wenn man während des Tests grössere Wege zurückgelegt hätte.

Zudem muss berücksichtigt werden, dass die meisten Probanden bereits über relativ gute Ortskenntnisse verfügten. Die Einfärbung von Stadtbereichen ist aber vermutlich insbesondere dann von Vorteil, wenn Personen (z. B. Touristen) noch über keinerlei Ortskenntnisse verfügen und sich über die Bereiche eine grobe Übersicht verschaffen können.

Brennpunkte

Die Darstellung der Brennpunktsymbole vereinfacht für 21 Probanden die Übersicht über die Struktur der Innenstadt. Auch die Situationskarten werden von 21 Personen als hilfreich bewertet. Median und Modus liegen in beiden Fällen auf der höchsten Zustimmungsstufe.

Viele Knotenpunkte sind eigentlich bereits schon an der Struktur des Strassennetzes zu erkennen. Dennoch wird es von den meisten Teilnehmern offensichtlich geschätzt, wenn die wichtigsten und zentralsten Knotenpunkte einer Stadt zusätzlich betont werden.

Merkzeichen

Zur Bewertung der Merkzeichen werden die Probanden gefragt, wie hilfreich sie die Darstellung der lokalen und entfernten Merkzeichen finden. Auch die permanent dargestellten entfernten Merkzeichen (Bezugspunkte des Referenzsystems) sind bewertet worden. Die lokalen Merkzeichen werden als sehr hilfreich bezeichnet, die entfernten Merkzeichen sowie die permanent dargestellten entfernten Merkzeichen werden als weniger hilfreich eingeschätzt. Die absoluten Antwortzahlen zu diesen Fragen sind in der Abbildung 25 enthalten, die statistischen Lagemasse sind in Tabelle 5 aufgeführt. Für die Berechnung des Durchschnittes sind die Antworten mit den Werten einer Skala von 0 bis 3 kodiert worden. 0 bedeutet „überhaupt nicht hilfreich“, 1 bedeutet „nicht hilfreich“, 2 bedeutet „hilfreich“ und 3 bedeutet „sehr hilfreich“.

Für die meisten Testteilnehmer ist die Anzahl der dargestellten lokalen und entfernten Merkzeichen „gerade richtig“. Den meisten Teilnehmern fiel zudem die Identifikation der Merkzeichen anhand der Fotos „leicht“ oder „sehr leicht“.

Frage \ Lagemass	Durchschnitt	Median	Modus
Lokale Merkzeichen	2.7	3	3
Entfernte Merkzeichen	2.33	2	3
Entfernte Bezugspunkte	2.27	2	3

Tab. 5: Lagemass-Vergleich lokale Merkzeichen, entfernte Merkzeichen und entfernte Bezugspunkte

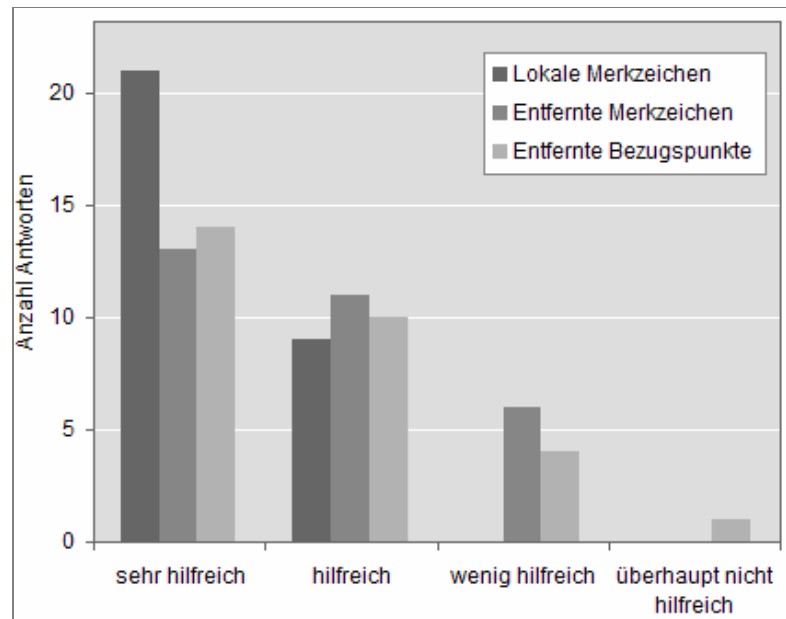


Abb. 28: Vergleich lokale Merkzeichen, entfernte Merkzeichen und entfernte Bezugspunkte

Beantwortung der Arbeitshypothese

Die Hypothese, die dieser Arbeit zu Grunde liegt, lautet: „Die Umsetzung der Strukturelemente von Lynch in einer kartografischen Applikation vereinfachen das explorative Navigieren im städtischen Raum.“ Abschliessend zu den Fragen zu den verschiedenen Strukturelementen wird auf dem Fragebogen die zentrale Frage zur Beantwortung dieser Arbeitshypothese gestellt. 11 Probanden stimmen „voll und ganz zu“, dass ihnen das Navigieren und Orientieren mit dieser Kartenanwendung leichter fällt. Weitere 13 Teilnehmer „stimmen zu“, fünf Personen „stimmen nicht zu“. Es zeigt sich, dass bei dieser Frage der Kenntnisgrad des Testgebietes einen grossen Einfluss auf das Ergebnis hat. Für die Gruppe mit sehr guten Ortskenntnissen ist der Prototyp wenig hilfreich. Zustimmender fallen die Antworten derjenigen Gruppe aus, die sich mässig gut auskennt. Am grössten ist die Zustimmung bei den Probanden, die sich im Testgebiet nur wenig auskennen.

Diese Verteilung der Antworten lässt darauf schliessen, dass die Hypothese bestätigt werden kann. Der Prototyp ist für das explorative Wegfinden oder Navigieren in unbekanntem Gelände entwickelt worden. Diejenige Probandengruppe, die diesem Szenario am besten entspricht, beurteilt das Navigieren und Orientieren mit dieser Kartenapplikation als deutlich leichter.

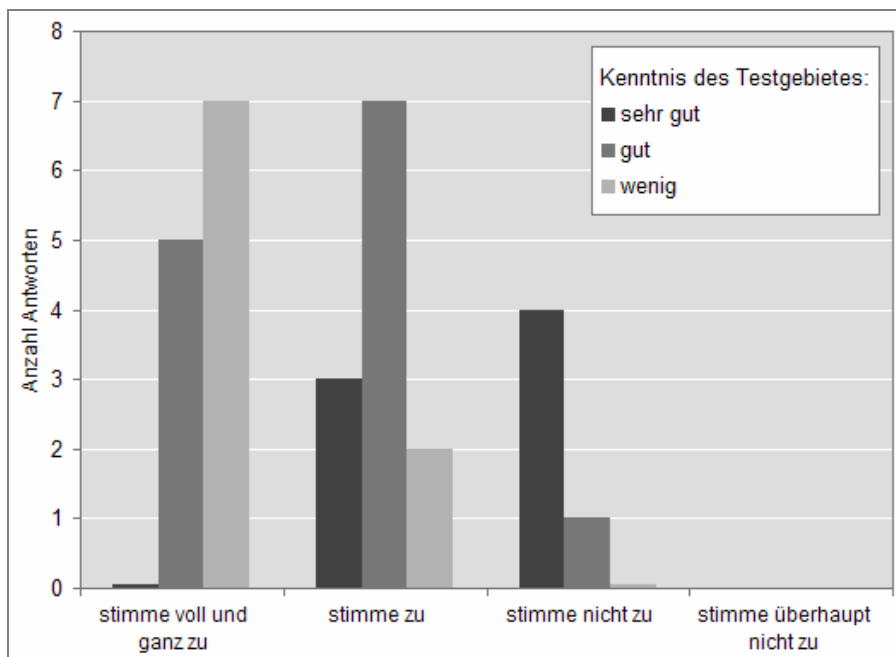


Abb. 29: Zustimmungsgrad von Gruppen mit unterschiedlicher Testgebietkenntnis

5.3.2 Qualitative Auswertung

Bei einigen Fragen hatten die Probanden die Möglichkeit, eigene Anregungen oder Verbesserungsvorschläge anzubringen. Am häufigsten wurde dabei der Wunsch geäussert, dass sich die Karte automatisch nach der Laufrichtung ausrichten sollte. Viele Probanden umgingen das Fehlen dieser Funktion, indem sie das Gerät jeweils so drehten, dass die Orientierung der Karte mit der Laufrichtung übereinstimmte. Die automatische Kartenausrichtung war einer der Punkte, der mit der Prototypentwicklung nicht erfüllt werden konnte. Die Resultate bestätigen auch die Erkenntnisse von Montello [Mon05], der darauf hinweist, dass der Benutzer selber zwischen fixer und automatischer Ausrichtung der Karte wählen können soll.

Eine weitere häufige Anmerkung war, dass die Merkzeichen aus verschiedenen Perspektiven fotografiert werden sollten und dass beim Aufruf immer das Bild angezeigt werden soll, welches mit der aktuellen Perspektive des Benutzers übereinstimmt. Dieser Ansatz wird bei Lee

et al. [Lee01] umgesetzt, allerdings werden die entsprechenden perspektivischen Bilder direkt in der Karte dargestellt.

Von den meisten Probanden ist kritisiert worden, dass auf den Detailkarten, die über die Brennpunktsymbole aufgerufen werden können, keine Position angezeigt wird. Die meisten Probanden bekundeten denn auch Mühe, die Detailkarte richtig zu orientieren. Auf besonders positives Echo stiess hingegen die Darstellung der Haltestellen des öffentlichen Verkehrs auf den Detailkarten.

Für viele Testteilnehmer sind offenbar die Linien und die Haltestellen des öffentlichen Verkehrs wichtige Bezugspunkte in der Stadt. Von vielen wurde gewünscht, dass die Tramlinien in der Karte immer ersichtlich sein sollten und dass zusätzlich auch die Haltestellen dargestellt werden sollten.

Einige Male wurde gewünscht, dass in der Karte alle Strassen im Umkreis der aktuellen Position beschriftet werden sollten.

Sehr viele Probanden kritisierten, dass die Applikation zu langsam laufe. Die meisten waren aber dennoch der Meinung, dass die Leistung des Gerätes für Testzwecke ausreichend sei.

6. Resultate

Das Ziel dieser Arbeit war die Visualisierung der Strukturelemente von Lynch in einer kartografischen Applikation um so das explorative Navigieren in der Stadt zu erleichtern. Im ersten Unterkapitel werden die wichtigsten Ergebnisse der Operationalisierung, der Prototypentwicklung und der Prototypevaluation zusammenfassend präsentiert. Anschliessend werden die erzielten Ergebnisse diskutiert und es wird ein kurzer Ausblick über zukünftige Arbeiten gegeben.

6.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

6.1.1 Operationalisierung der Strukturelemente

Die Strukturelemente, welche mentale Kategorien der Raumvorstellung repräsentieren, konnten erfolgreich operationalisiert werden. In einem ersten Schritt wurden Konzepte zur Verwendung der Strukturelemente als Navigationshilfen entwickelt. Anschließend wurden diese mit Hilfe der grafischen Variablen von Bertin [Ber74] in eine kartografische Zeichensprache umgesetzt. Dank dieser Operationalisierung können die Strukturelemente nun als Navigationshilfen für kartografische Anwendungen verwendet werden. Die Ergebnisse der Operationalisierung sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

<i>Strukturelement und Charakteristik</i>	<i>Operationalisierung</i>
Wege – Können besondere Identität erlangen durch Konzentration bestimmter Benutzungszwecke (z.B. Verkehr, Einkaufen, Vergnügungs-viertel)	– Herkömmliche Darstellung der Strassen als lineare Objekte – Darstellung der Benutzungszwecke in Form von Symbolen – Angabe des Strassennamens
Grenzen – Lineare Elemente mit trennendem Charakter – Unzugänglich für Querverbindungen	– Grenzen in den Daten meist enthalten (z.B. Fluss, breite Strasse, Eisenbahnlinie) – Hervorhebung von Querverbindungen

Tab. 6a: Operationalisierung der Strukturelemente

<i>Strukturelement und Charakteristik</i>	<i>Operationalisierung</i>
Bereiche – <i>Relativ große Stadtbezirke</i> – <i>Meist einheitlicher individueller Charakter</i> – <i>Abgrenzungen oft unscharf</i>	– <i>Farbliche Unterscheidung der Stadtbereiche, insbesondere zur Strukturierung der Übersichtskarte</i> – <i>Einfärbung nur in kleinen Massstäben, damit die die Bereiche eine gewisse Unschärfe behalten.</i>
Brennpunkte – <i>Strategische Knotenpunkte (z.B. Zusammentreffen von Strassen und/oder Umsteigepunkte des öffentlichen Verkehrs)</i> – <i>Besonders wichtig für die Navigation, da hier Entscheidungen getroffen werden müssen</i>	– <i>Hervorhebung der Brennpunkte durch Symbole in der Karte</i> – <i>Über die Brennpunktsymbole zusätzliche Informationen zum Brennpunkt abrufbar (als Entscheidungshilfe)</i>
Merkzeichen – <i>Optische Bezugspunkte außerhalb des Betrachters</i> – <i>Charakteristische Formen, Dimensionen oder Funktionen (Einmaligkeit)</i>	– <i>Darstellung von Merkzeichen in der Karte durch Symbole</i> – <i>Verweis mittels Symbolen auf wichtige Merkzeichen außerhalb des Kartenausschnittes</i> – <i>Über die Symbole Fotografien abrufbar, zur besseren Identifikation der Merkzeichen</i>

Tab. 6b: Operationalisierung der Strukturelemente

6.1.2 Prototyp

Das Resultat der Prototypentwicklung ist eine mobile kartografische Applikation (siehe Abb. 30). Sie dient als Navigationsassistent für das explorative Navigieren in der Stadt. Das Programm läuft auf einem PDA (*Personal Digital Assistant*) der mit einem GPS-Empfänger gekoppelt ist. Der GPS-Empfänger liefert die aktuelle geografische Position. Über eine Snap-Funktion und eine Point-In-Polygon-Funktion wird die semantische Position festgestellt. Ausgehend von der semantischen Position werden die Strukturelemente, die für den lokalen Kontext jeweils wichtig sind, aufbereitet und in der Karte dargestellt. Angezeigt werden der aktuelle Strassenname sowie die Strasseneigenschaften in Form von Symbolen. Am Rand der Karte werden dynamische Verweise auf die wichtigsten entfernten Merkzeichen platziert.

Die weiteren Strukturelemente werden nicht kontextabhängig sondern massstabsabhängig aufbereitet. In der Karte werden die lokalen Merkzeichen sowie die Brennpunkte mit Symbolen dargestellt. Der Kartenbenutzer hat die Möglichkeit, über diese Symbole interaktiv weitere Informationen abzurufen. Beim Antippen eines Merkzeichensymbols wird eine Fotografie des Merkzeichens auf dem Bildschirm angezeigt. Über die Brennpunktsymbole kann eine detaillierte Karte zum entsprechenden Knotenpunkt aufgerufen werden. In kleinen Massstäben werden die wichtigsten Stadtbereiche farblich unterschieden.



Abb. 30: Printscreens vom Prototyp

6.1.3 Prototypevaluation

Der Prototyp ist von 30 Personen in der Zürcher Innenstadt getestet worden. Die Ergebnisse der Evaluation sind viel versprechend.

Die Bedienung des Gerätes bereitet keine Schwierigkeiten und die meisten Probanden sind zufrieden mit der Darstellung der Karte und der Aussagekraft der Symbole. Beim Prototyp wird allerdings bemängelt, dass sich die Karte nicht automatisch in Laufrichtung ausrichtet. Dieser Sachverhalt wird von fast allen Testteilnehmern als störend empfunden. Viele richteten darum die Karte jeweils manuell nach der Laufrichtung aus.

Die Visualisierung der Strukturelemente wird im Allgemeinen als hilfreich für die Navigation und Orientierung wahrgenommen. Sehr positiv bewertet wird die Anzeige des aktuellen Strassennamens, während die Symbolisierung der Strasseneigenschaften etwas weniger hilfreich ist. Sehr gut bewertet worden sind auch die betonten Querverbindungen zu den Grenzlinien. Bei den Merkzeichen zeigt sich ein differenziertes Bild: die lokalen Merkzeichen sind für die Orientierung sehr hilfreich, die Verweise auf die entfernten Merkzeichen und auf die entfern-

ten Bezugspunkte werden als etwas weniger hilfreich betrachtet. Die Datenauswertung hat ergeben, dass sich die Merkzeichen mit den Fotos sehr leicht identifizieren lassen, dennoch lautet eine der meistgenannten Anregungen, dass die Merkzeichen aus unterschiedlichen Perspektiven aufgenommen und angezeigt werden sollten. Die Symbolisierung der Brennpunkte wird sehr gut bewertet, genauso wie die Möglichkeit, über die Brennpunktsymbole eine detaillierte Situationskarte aufrufen zu können. Die Einfärbung von Stadtbereichen zur Groborientierung in der Übersichtskarte wird ebenfalls als hilfreich wahrgenommen.

Die Auswertung der Antworten zu den Strukturelementen hat keine nennenswerten Effekte im Zusammenhang mit den unterschiedlichen Profilen der Probanden ergeben. Umso bemerkenswerter ist aber der Effekt des Probandenprofils in der Beantwortung der Frage zur Arbeitshypothese. Das Gesamturteil, ob der Prototyp bei der Navigation und Orientierung hilft, weist einen direkten Zusammenhang mit den Ortskenntnissen der Testperson auf (siehe Abb. 31). Die Testteilnehmer halten den Prototypen für umso hilfreicher, je weniger sie mit dem Testgebiet vertraut sind. Personen, die sich nur wenig auskennen, beurteilen den Prototyp als sehr hilfreich.

Es kann zusammengefasst werden, dass die Umsetzung der Strukturelemente von Lynch in einer kartografischen Applikation die Navigation und die Orientierung erleichtern können. Besonders hilfreich ist die Applikation für Personen, die sich im Testgebiet nur wenig auskennen. Die zu Beginn dieser Arbeit formulierte Hypothese, wonach „die Umsetzung der Strukturelemente in einer kartografischen Applikation das explorative Navigieren im städtischen Raum vereinfacht“, kann somit bestätigt werden.

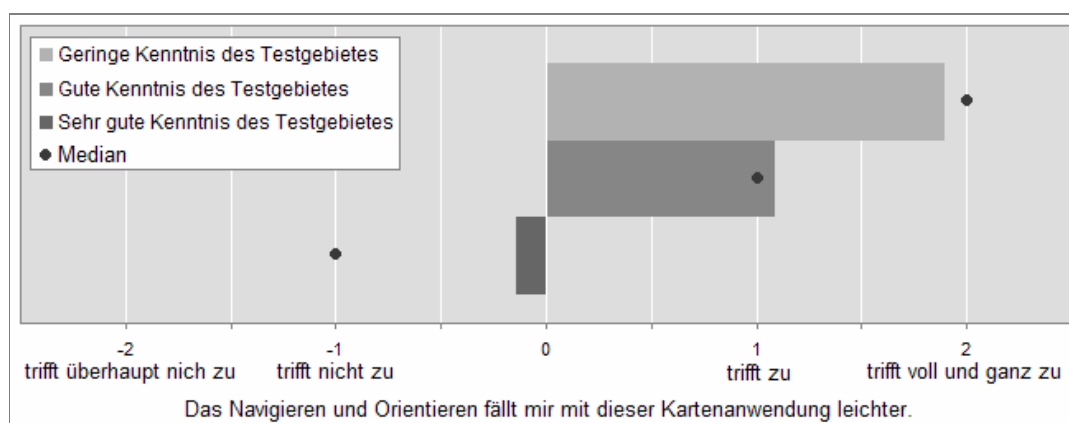


Abb. 31: Darstellung der Mittelwerte (Säulen) und Medianwerte (Punkte) von Probandengruppen mit unterschiedlichen Kenntnissen des Untersuchungsgebietes.

6.2 Diskussion

Mit dieser Arbeit wird gezeigt, dass die Strukturelemente operationalisiert und kartografisch dargestellt werden können. Aufgrund dieser erfolgreichen Umsetzung lassen sie sich in einer kartografischen Applikation verwenden. Die Resultate der Prototypevaluation zeigen, dass den operationalisierten Strukturelementen beim Navigationsprozess eine wichtige Bedeutung zukommt und dass der Mehrheit der Testpersonen dank der Visualisierung dieser Strukturelemente das Navigieren und Orientieren leichter fällt. Dass die Probanden mit den geringsten Ortskenntnissen die Applikation am hilfreichsten finden, vermag eigentlich nicht zu überraschen. Da die Applikation für den Prozess des explorativen Wegfindens entwickelt worden ist, der typischerweise in unbekanntem Terrain stattfindet, sind diese Resultate natürlich besonders positiv zu werten. Einige kritische Punkte müssen dennoch besprochen werden.

An sich stellt alleine schon die Visualisierung des GPS-Signals in einer Karte eine sehr grosse Navigationshilfe dar. Der Einfluss der angezeigten GPS-Position auf die positiven Bewertungen ist sicherlich nicht zu unterschätzen. Bei den angewendeten Tests wurde dieser Aspekt nicht berücksichtigt, weshalb bei der Auswertung keine konkreten Aussagen darüber gemacht werden können. Die Resultate deuten allerdings darauf hin, dass auch die Strukturelemente einen grossen Beitrag zu den guten Ergebnissen geliefert haben. Denn selbst von den ortskundigen Probanden sind die visualisierten Strukturelemente meistens als sehr hilfreich eingeschätzt worden.

Einen Einfluss auf die Testresultate hatte auch die Art der Tests: Die Probanden waren stets in Begleitung und befanden sich somit in einer „geschützten“ Testsituation. Darüber hinaus war allen Probanden das Testgebiet bekannt. Das Testumfeld lässt sich daher nur bedingt mit einer authentischen Navigationssituation in fremder Umgebung vergleichen.

Die Innenstadt von Zürich war für die durchgeführten Tests ein gutes Testgebiet. Sie ist sehr klar strukturiert und die Strukturelemente sind leicht zu identifizieren. Auch ohne Hilfsmittel ist das Navigieren in diesem Gebiet nicht besonders schwierig. Für eine differenziertere Beurteilung der angewandten Methode wären auch Tests in schlechter strukturierten Stadtgebieten mit weniger deutlichen Strukturelementen nötig. In einem solchen Gebiet ist bereits die Aufbereitung der Strukturelemente problematisch. Viele Elemente sind schlecht lesbar und können daher nicht eindeutig identifiziert werden.

Neben diesen thematischen Aspekten sind auch einige Anmerkungen zur technischen Umsetzung zu machen. Das grösste technische Problem lag in der langsamen Kartenaufbereitung. Durch die Kachelung der Daten konnte dieses Problem zwar zu einem grossen Teil entschärft werden. Die Kartenaufbereitung war aber dennoch zu langsam für eine automatische Ausrich-

tung der Karte nach der Laufrichtung. Es stellt sich daher die Frage, ob die Verwendung des XML-basierten SVG-Formats zur Kartendarstellung eine gute Entscheidung war. Vorteile von SVG sind die einfache Code-Erzeugung, die Möglichkeit von Interaktionen mit dem SVG-DOM sowie die klare Darstellung auf dem Display. Durch die technische Weiterentwicklung der portablen Geräte und durch verbesserte Rendering-Algorithmen wird das Problem der langsamen Bildaufbereitung voraussichtlich in naher Zukunft gelöst sein. Eine andere Möglichkeit dieses Problem zu lösen, besteht darin, eine Client-Server-Struktur zu verwenden. Alle rechenaufwändigen Prozesse können auf dem Server laufen und nur die fertig aufbereiteten Karten werden auf das Endgerät geschickt. Die Hauptvoraussetzung dafür ist jedoch eine performante und kostengünstige drahtlose Datenübertragung zwischen Server und Client.

Ein weiteres technisches Problem stellt die Verfügbarkeit einer genauen GPS-Position dar. In engen Gassen oder unter Bäumen konnte der GPS-Empfänger oft keine Position bestimmen. Bei den Tests wurde dieses Problem umgangen, indem Stadtbereiche mit schlechtem GPS-Empfang gemieden wurden. In Zukunft kann dieses Problem durch die gleichzeitige Anwendung von verschiedenen Positionierungstechniken gelöst werden. Dazu gehören GPS, Dead Reckoning (digitaler Kompass & Schrittzähler), Funkzellenortung und viele mehr [Gar05].

6.3 Ausblick

Der verwendete Ansatz, Strukturelemente zur Erleichterung der Navigation zu verwenden, ist noch relativ wenig erforscht. Die Resultate dieser Arbeit zeigen, dass die Aufbereitung der Strukturelemente in einer Karte das Navigieren erleichtert. Im Rahmen dieser Diplomarbeit konnten aber bei weitem nicht alle Aspekte untersucht werden. Es gibt verschiedene Bereiche, die noch vertiefter untersucht werden sollten. Sie führen zu Forschungsfragen für zukünftige Arbeiten.

Damit fundiertere Aussagen über die verwendeten Methoden gemacht werden können, müssen noch mehr Tests durchgeführt werden. In erster Linie müssen Tests mit Personen durchgeführt werden, die sich im Untersuchungsgebiet nicht auskennen. Die Testsituation muss zudem „authentischer“ werden. Die Testperson soll sich mit der Applikation ohne Einschränkungen im Testgebiet bewegen können. Dafür muss die Applikation soweit verbessert werden, dass die Tests ohne Begleitung durchgeführt werden können. Zusätzlich sollen Tests in verschiedenen Untersuchungsgebieten mit unterschiedlichen Charakteristiken und in verschiedenen Städten durchgeführt werden. Wichtig ist auch die Verfeinerung des Fragebogens,

damit bei der Erfassung der Testergebnisse der Einfluss von Störvariablen vermindert werden kann.

Forschungsbedarf besteht auch im Bezug auf die Massstabsabhängigkeit der verschiedenen Strukturelemente. Zur optimalen Navigationshilfe muss die Darstellung und die Anzahl der Strukturelemente an den jeweiligen Massstab angepasst werden. In dieser Arbeit wurde die Darstellung der Elemente in den verschiedenen Massstäben eher intuitiv gemacht. Es wäre jedoch hilfreich, für die Massstabsabhängigkeit der Strukturelemente ein verbindliches Regelwerk zu schaffen.

Auf technischer Seite sind ebenfalls Verbesserungen anzustreben. Am wichtigsten ist, dass der Benutzer frei wählen kann, ob die Karte nach Norden oder nach der Laufrichtung ausgerichtet werden soll. Bei den neusten portablen Geräten sind teilweise auch elektronische Kompass eingebaut. Damit könnte die Karte zudem automatisch nach der Blickrichtung ausgerichtet werden.

Zu einer weiteren Erleichterung der Navigation wäre es auch wünschenswert, wenn alle Merkzeichen (lokale und entfernte) abhängig von ihrer Sichtbarkeit dargestellt werden könnten. Offen ist dabei die Frage, ob die Sichtbarkeit der Merkzeichen anhand einer Sichtbarkeitsanalyse *on-the-fly* berechnet werden soll, oder ob die Sichtbarkeit der Objekte in den Daten gespeichert werden soll. Interessant ist in diesem Zusammenhang auch eine Arbeit von Caduff und Timpf [Cad05], in der unter anderem ein Algorithmus entwickelt wird, der die wichtigsten Merkzeichen zur Navigation findet. Berücksichtigt werden dabei die Orientierung des Benutzers, die Distanz zum Merkzeichen sowie dessen Auffälligkeit.

Mit der entwickelten Applikation wird das explorative Wegfinden erleichtert. Daneben gibt es bereits viele Applikationen, die das zielgerichtete Wegfinden unterstützen. Für die Zukunft ist es sicher erstrebenswert, diese beiden Ansätze in einer Applikation zu vereinen. Der Benutzer könnte dann je nach Problemstellung optimal bei der Navigation unterstützt werden. Vor allem für Touristen könnten solche Geräte von grossem Nutzen sein.

7. Bibliographie

- [Agr01] Agrawala, M., Stolte, M. (2001): *Rendering Effective Route Maps: Improving Usability Through Generalization*. Siggraph Proceedings. S. 241- 249.
- [All99] Allen, G. L. (1999): *Spatial Abilities, Cognitive Maps, and Wayfinding: Bases fo individual differences in spatial cognition and behavior*. In: Golledge R. G. (Hrsg.): *Wayfinding Behavior: Cognitive Mapping and Other Spatial Processes*. S. 46- 80.
- [Ber74] Bertin, Jacques (1974): *Graphische Semiologie. Diagramme, Netze, Karten*. Übers. u. bearb. nach der 2. franz. Aufl. von Scharfe, W. u.a., Berlin/New York (erstm. 1967).
- [Ber82] Bertin, J. (1982): *Graphische Darstellung und die graphische Weiterverarbeitung von Information*. Übers. u. bearb. von Scharfe, W., Berlin/New York (erstm. 1977).
- [Bop02] Bopp, M., Hermann, M., Leuthold, H. (2002): *Grundlagen & Techniken empirischer Forschung*. Vorlesungsskript Geographisches Institut, Universität Zürich.
- [Bro96] Brockhaus (1996-99): *Die Enzyklopädie in 24 Bänden*. 20., neu bearbeitete Auflage. Leipzig/Mannheim.
- [Cad05] Caduff, D., Timpf, S. (2005): *The Landmark Spider: Representing Landmark Knowledge for Wayfinding Tasks*. In: Barkowsky, T., Freksa, C., Hegarty, M., Lowe, R. (Hrsg.): *Reasoning with Mental and External Diagrams: Computational Modeling and Spatial Assistance*. S. 30-35.
- [Dar02] Darken, R.P., Peterson, B. (2002): *Spatial Orientation, Wayfinding, and Representation*. In: Staney, K. M. (Hrsg.): *Handbook of virtual environments design, implementation, and applications*. S. 493- 518.
- [DMK92] DMK/DPK (1992): *Formeln und Tafeln. Mathematik - Physik*. 5. Auflage. Zürich.
- [Eli03] Elias, B., Hampe, M. (2003): *Kontextbezogene Kartengenerierung für Routing-Anwendungen*. Technical Paper, Workshop Design kartenbasierter mobiler Dienste, Mensch und Computer 2003
- [Fre99] Freksa, C. (1999): *Spatial aspects of task-specific wayfinding maps*. In: Gero, J. S. und Tversky, B. (Hrsg.): *Visual and Spatial Reasoning in Design*. Key Centre of Design Computing and Cognition, University of Sydney. S. 15- 32.
- [Gar05] Gartner, G., Radoczky, V., Retscher, G. (2005): *Location technologies for pedestrian navigation*. GIS Development. Vol. 9 (4), S. 22 - 25.

- [Gol02] Golledge, R. G. (2002): *Human Wayfinding and Cognitive Maps*. In: Rockman M. und Steele J. (Hrsg.): *Colonization of Unfamiliar Landscapes: The Archaeology of Adaptation*. S. 25- 44.
- [Hak94] Hake G., Grünreich D. (1994): *Kartographie*. 7. Auflage. Berlin/New York.
- [Ham03] Hampe, M., Elias, B. (2003): *Integrating topographic information and landmarks for mobile navigation*. In: LBS & TeleCartography. Gartner, G. (Hrsg.): *Geowissenschaftliche Mitteilungen*. Vol. 66, S. 147- 157.
- [Heg03] Hegner, M. (2003): *Methoden zur Evaluation von Software*. IZ-Arbeitsbericht Nr. 29. InformationsZentrum Sozialwissenschaften (ASI). Bonn.
- [Ing96] Ingram, R., Benford, S. (1996): *Building Virtual Cities: applying urban planning principles to the design of virtual environment*. Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology. S. 83- 91.
- [Kli03] Klippel, A. (2003): *Wayfinding Choremes: Conceptualizing Wayfinding and Route Direction Elements*. Dissertation, Universität Bremen.
- [Kru05] Kruschel, K., Tainz, P. (2005): *Generalization Concepts for Pedestrian Route Information*. Proceedings, ISGI 2005, International Symposium on Generalization of Information. Berlin.
- [Lee01] Lee, Y.C., Kwong, A., Pun, L., Mack, A. (2001): *Multi-Media Map for Visual Navigation*. Journal of Geospatial Engineering. Vol. 3, Nr. 2, S. 87-96.
- [Li04] Li, Chao (Lily) (2004): *Spatial ability, urban wayfinding and location-based services: a review and first results*. CASA Working Papers, Nr.77. Working paper. Centre for Advanced Spatial Analysis (UCL).
- [Lyn60] Lynch, K. (1960): *The Image of the City*. Cambridge, MIT Press.
- [Mar99] Mark, D., Freksa, C., Hirtle, S. , Lloyd, R. and Tversky B. (1999): *Cognitive models of geographical space*. International Journal of Geographical Information Science. Vol. 13(8), S. 747-774.
- [Mon05] Montello, D. R. (2005): *Navigation*. In: A. Miyake & P. Shah (Hrsg.): *The Cambridge Handbook of Visuospatial Thinking*. S. 257 - 294.
- [May03] May, A. J., Ross, T., Bayer, S. H. and Tarkianainen, M. J. (2003): *Pedestrian navigation aids: information requirements and design implications*. Personal and Ubiquitous Computing. Vol. 7, S. 331-338.
- [Nis03] Nissen, F., Hvas, A., Swendsen, J. and Brodersen, L. (2003): *Small-Display Cartography*. GiMoDig Scientific Report.
- [Pan04] Panther, R. (2004): *Das Pocket PC Programmier Handbuch*. München.

- [Rau02] Raubal, M., Winter, S. (2002): *Enriching Wayfinding Instructions with Local Landmarks*. In: Egenhofer M. und Mark D. (Hrsg.): *Geographic Information Science - Second International Conference, GIScience 2002*, Boulder, CO, USA. *Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 2478, S. 243-259.
- [Slu01] Sluter, R. S. (2001): *New Theoretical Research Trends in Cartography*. *Revista Brasileira de Cartografia*. Vol. 53, S. 29 - 37.
- [Spa97] Sparacino, F., Pentland, A., Davenport, G., Hlavac, M., Obelnicki, M. (1997): *City of News*. From the *Ars Electronica Catalogue*, cite: *Ars Electronica 1997, Exhibition Catalogue*.
- [Str99] Strohecker, C. (1999): *Towards a Developmental Image of the City. Design through Visual, Spatial, and Mathematical Reasoning*. Published in *Proceedings of the International Conference on Visual and Spatial Reasoning in Design*. S. 33-50.
- [Tai02] Tainz, P. (2002): *Kartographisches Zeichenmodell*. Lexikonstichwort. In: *Lexikon der Kartographie und Geomatik*. Bd. 2, S. 44-46.
- [Tim99] Timpf, S. (1999): *Abstraction, levels of detail, and hierarchies in map series*. In: C. Freksa und Mark D. M. (Hrsg.): *Spatial Information Theory - cognitive and computational foundations of geographic information science (COSIT'99)*. *Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 1661, S. 125-140.
- [Tve03] Tversky, B. (2003): *Structures of mental spaces: How people think about space*. *Environment and Behavior*. Vol. 35, S. 66-80.
- [Tve93] Tversky, B. (1993): *Cognitive Maps, Cognitive Collages, and Spatial Mental Models*. In: Frank, A. und Campari, I. (Hrsg.): *Spatial Information Theory: A Theoretical Basis for GIS, COSIT '93*. *Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 716, S.14-24.
- [Web02] WebPark (2002): *Usability Testing Template*. WebPark, Geographically relevant information for mobile users in protected areas.
- [Zip03] Zipf, A. (2003): *Forschungsfragen zur benutzer- und kontextangepassten Kartengenerierung für mobile Systeme*. *Kartographische Nachrichten (KN)*, 1/2003. Themenheft *Mobile Kartographie*. S. 6-11.

Internetquellen

- [WWW1] International Cartographic Association (ICA). <http://www.icaci.org/> (Zugriff 18. 12. 2005)
- [WWW2] SwissGeo. <http://www.swissgeo.ch/> (Zugriff 23. 12. 2005)
- [WWW3] Scalable Vector Graphic (SVG). <http://www.w3.org/Graphics/SVG/> (Zugriff 18. 12. 2005)

- [WWW4] eSVG - embedded Scalable Vector Graphics: <http://www.esvg.com> (Zugriff 18. 12. 2005)
- [WWW5] NMEA: National Marine Electronics Association: <http://www.nmea.org/> (Zugriff 18. 12. 2005)
- [WWW6] Understanding NMEA0183. <http://pcptpp030.psychologie.uni-regensburg.de/trafficresearch/NMEA0183/> (Zugriff 18. 12. 2005)
- [WWW7] Näherungslösungen für die direkte Transformation CH1903 WGS84. http://www.swisstopo.ch/pub/down/basics/geo/system/ch1903_wgs84_de.pdf. (Zugriff 16. 12. 2005)
- [WWW8] KevLinDev: Kevin Lindsey Software Development. <http://www.kevlindev.com/> (Zugriff 18. 12. 2005)

Anhang

Der Quellcode des Prototyps befindet sich auf der beiliegenden Compact Disc. Alle benötigten Informationen zur Installation des Prototyps sind in der Datei „Readme.txt“ vorhanden.

Fragebogen zur Evaluation des Navigationsassistenten für Fussgänger

Persönliche Informationen

Geschlecht:

- weiblich Alter: _____
 männlich _____

Erfahrung mit GIS (Geographische Informationssysteme): ja nein

Erfahrung mit GPS (Global Positioning System): ja nein

Erfahrung mit PDA (Personal Digital Assistent): ja nein

Kenntnis des Untersuchungsgebietes (Zürcher Innenstadt)

In der Zürcher Innenstadt kenne ich mich ...

- sehr gut aus
 gut aus
 nur wenig aus
 überhaupt nicht aus

Fragen zur Evaluation der Navigationshilfen

Strassen und Wege

Hilft Ihnen die Anzeige des Strassennamens bei der Orientierung?

- hilft sehr
 hilft
 hilft wenig
 hilft überhaupt nicht

Helfen Ihnen die in der Symbolleiste angezeigten Strasseneigenschaften bei der Orientierung?

- helfen sehr
 helfen
 helfen wenig
 helfen überhaupt nicht

Sind die Symbole zu den Strasseneigenschaften leicht verständlich?

- leicht verständlich
 verständlich
 wenig verständlich
 überhaupt nicht verständlich

Was für zusätzliche Informationen würden Sie sich zu Strassen und Wegen wünschen?

Knotenpunkte / Grosse Kreuzungen

Knotenpunkte sind grosse oder wichtige Kreuzungen, die oftmals auch Umsteigepunkte des öffentlichen Verkehrs sind. Hier müssen für die Fortsetzung des Weges Entscheidungen getroffen werden.

Knotenpunkt-Symbole in der Karte



Vereinfachen die gekennzeichneten Knotenpunkte die Übersicht über die Struktur der Innenstadt?

- ja
- eher ja
- eher nein
- nein

Helfen Ihnen die Situationskarten, die über die Knotenpunkt-Symbole abgerufen werden können, bei der Orientierung an einem Knotenpunkt?

- helfen sehr
- helfen
- helfen wenig
- helfen überhaupt nicht

Finden Sie die eingezeichneten Fussgängerstreifen und Unterführungen in der Situationskarte hilfreich?

- sehr hilfreich
- hilfreich
- nicht hilfreich
- überhaupt nicht hilfreich

Was würden Sie sich zusätzlich zur Orientierung an Knotenpunkten wünschen?

Merkzeichen

Merkzeichen sind optisch auffallende Bezugspunkte. Meist handelt es sich dabei um einfache Objekte wie Gebäude, Schilder, Warenhäuser oder Anhöhen.

Lokales Merkzeichen



Verweis auf ein entferntes Merkzeichen



Hilft Ihnen die Darstellung von Merkzeichen bei der Orientierung?

- hilft sehr
- hilft
- hilft wenig
- hilft überhaupt nicht

Hilft Ihnen die Darstellung von entfernten Merkzeichen bei der Orientierung?

- hilft sehr
- hilft
- hilft wenig
- hilft überhaupt nicht

Können Sie mit den Fotos, die über die Merkzeichensymbole aufgerufen werden können, die entsprechenden Merkzeichen leicht identifizieren?

- sehr leicht
- leicht
- schwer
- sehr schwer

Hilft Ihnen die permanente Darstellung der Merkzeichen Bahnhof, See und Üetliberg bei der Groborientierung in der Stadt?

- sehr hilfreich
- hilfreich
- nicht hilfreich
- überhaupt nicht hilfreich

Sollen in der Karte mehr oder weniger Merkzeichen dargestellt werden?

- mehr
- weniger
- gerade richtig

Soll in der Karte auf mehr oder weniger entfernte Merkzeichen verwiesen werden?

- mehr
- weniger
- gerade richtig

Was für zusätzliche Informationen würden Sie sich für die Orientierung an Merkzeichen wünschen?

Groborientierung in der Übersichtskarte

Hilft Ihnen die dunklere Einfärbung der zentralen Stadtbereiche in der Übersichtskarte für die Groblokalisierung oder Groborientierung?

- hilft sehr
- hilft
- hilft wenig
- hilft überhaupt nicht

Abschliessende Fragen

Wie gut trifft die folgende Aussage auf Sie zu?

Das Navigieren und Orientieren fällt mir mit dieser Kartenanwendung leichter.

- trifft voll und ganz zu
- trifft zu
- trifft nicht zu
- trifft überhaupt nicht zu

Wie leicht fällt Ihnen die Bedienung des Gerätes?

- sehr leicht
- leicht
- schwierig
- sehr schwierig

Wie gut ist die Kartendarstellung in den verschiedenen Massstäben?

- sehr gut
- gut
- schlecht
- sehr schlecht

Anmerkungen
